



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



Návrh konstrukce vstřikovací formy

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály

Autor práce: Bc. Petr Dostál
Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld



Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Dostál**

Osobní číslo: **S15000345**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**

Název tématu: **Návrh konstrukce vstříkovací formy**

Zadávací katedra: **Katedra strojírenské technologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Rešerše poznatků v oblasti konstrukce vstříkovacích forem.
2. Výběr dílu pro konstrukční návrh vstříkovací formy.
3. Simulace procesu vstříkování.
4. Konstrukce vstříkovací formy a jejích částí.
5. Diskuse výsledků a závěr.

Rozsah grafických prací: **grafy, tabulky, obrázky**

Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] ŠAFAŘÍK M. *Nástroje pro tváření kovů a plastů I. /skripta / VŠST Liberec, 1987.*
- [2] STOECKHERT, K. *Mold-Making Handbook*, Carl Hanser Verlag, 1998.
- [3] GASTROW, H. *Injection Moulds, 130 Proven design*, Hanser, 2002.
- [4] BOBEK, J. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů. Dostupné na www.etul.publi.cz, 2015. ISBN Android: 978-80-88058-64-9.*

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld

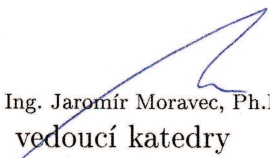
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce: **1. listopadu 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **1. dubna 2018**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2016

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Název diplomové práce:

Návrh konstrukce vstříkovací formy

The title of thesis:

Design of injection mould conception

Anotace

Diplomová práce se zabývá konstrukcí vstříkovací formy pro zadaný plastový díl. V první části se věnuje řešením v oblasti konstrukce vstříkovací formy a také vstříkování obecně, tedy technologii vstříkování, vstříkovacímu stroji, vstříkovaným materiálům a vstříkovacím formám. Praktická část obsahuje návrh konstrukce vstříkovací formy a návrhy jednotlivých částí, tedy vtokové soustavy, temperačního systému, systému vyhazování, tvarových desek a ostatních částí vstříkovací formy.

Klíčová slova:

Vstříkovací forma, vstříkovací stroj, technologie vstříkování, CAD, CAE

Annotation

This thesis is about design of injection mould conception for injection part. The first part deals with research in the area of injection mould conception and the injection generally, so for the technology of injection, the injection machine, the materials for injection and the injection moulds. The practical part deals with design of injection mould and designs particulars components, so runner system, temperature regulation, ejection system, mould cavity and core and the others components of injection moulds.

Keywords

Injection mould, injection machine, technology of injection, CAD, CAE.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi za odbornou pomoc, poskytnutý čas a podnětné připomínky ke zpracování diplomové práce.

Obsah:

| | |
|---|----|
| 1. Úvod | 9 |
| 2. Teorie ke vstřikovacím formám | 10 |
| 2.1. Technologie vstřikování | 10 |
| 2.1.1 Princip vstřikování | 10 |
| 2.1.2 Veličiny ovlivňující vlastnosti výstřiků | 12 |
| 2.2. Vstřikovací stroj | 13 |
| 2.3. Plasty | 16 |
| 2.4. Konstrukce vstřikovací formy | 21 |
| 2.4.1. Temperace vstřikovací formy | 23 |
| 2.4.2. Části vstřikovací formy | 24 |
| 2.4.2.1 Vtokové systémy | 25 |
| 2.4.2.2 Vyhazovací systémy | 31 |
| 2.4.2.3 Tvarové desky a odvzdušnění | 32 |
| 2.4.2.4 Ostatní části vstřikovací formy | 34 |
| 2.5. Materiály vstřikovacích forem | 37 |
| 2.6. CAD/CAM systémy a simulační software – CAE | 38 |
| 3. Praktická část | 41 |
| 3.1. Vstřikovaný díl | 41 |
| 3.2. Materiál vstřikovaného dílu | 43 |
| 3.3. Stroj pro vstřikování dílu | 44 |
| 3.4. Forma | 46 |
| 3.4.1. Vtoková soustava | 46 |
| 3.4.2. Temperační okruh | 50 |
| 3.4.3. Vyhazovací systém | 52 |
| 3.4.4. Tvarové desky | 54 |
| 3.4.5. Odvzdušnění | 56 |
| 3.4.6. Středicí kroužky a zámky | 57 |
| 3.4.7. Podkladová a izolační deska | 59 |
| 3.4.8. Analýza deformací | 60 |
| 3.4.9. Přílohy | 62 |
| 4. Diskuse | 67 |
| 5. Závěr | 70 |
| 6. Použitá literatura | 71 |

1 ÚVOD

Vstřikovací formy slouží jako nástroj pro zpracování plastů, které patří mezi moderní konstrukční materiály, k jejichž hlavnímu rozvoji došlo v průběhu 20. století.

Z historického hlediska se dají rozlišit zhruba tři etapy ve vývoji a výrobě plastů, kdy k prvnímu velkému rozmachu dochází mezi lety 1900 - 1940, jsou objevovány základní druhy plastů a chemických reakcí potřebných k výrobě. Ve 2. etapě do roku cca 1975 dochází k intenzivnímu zkoumání vlastností nově objevených plastů a možnosti jejich nasazení v průmyslové výrobě. Ve 3. etapě dochází k vývoji plastů a jejich vlastností přesně na míru, vyrábějí se složité polymery a směsi pro špičkové inženýrské aplikace.

Z hlediska forem pro vstřikování plastů je důležitá 3. etapa, kdy dochází k masivnímu nástupu a použití plastů v automobilovém průmyslu, protože vstřikováním lze vyrobit komplikovaný výrobek na jedinou aplikaci za přijatelnou cenu např. i s požadovaným dezénem.

Poslední mohutný impuls v oblasti vstřikovacích forem přinesl rozvoj a nasazení 3D kreslicích a simulačních softwarů, které umožňují automatizovat návrhy forem a simulovat vstřikovací procesy v dutině formy.

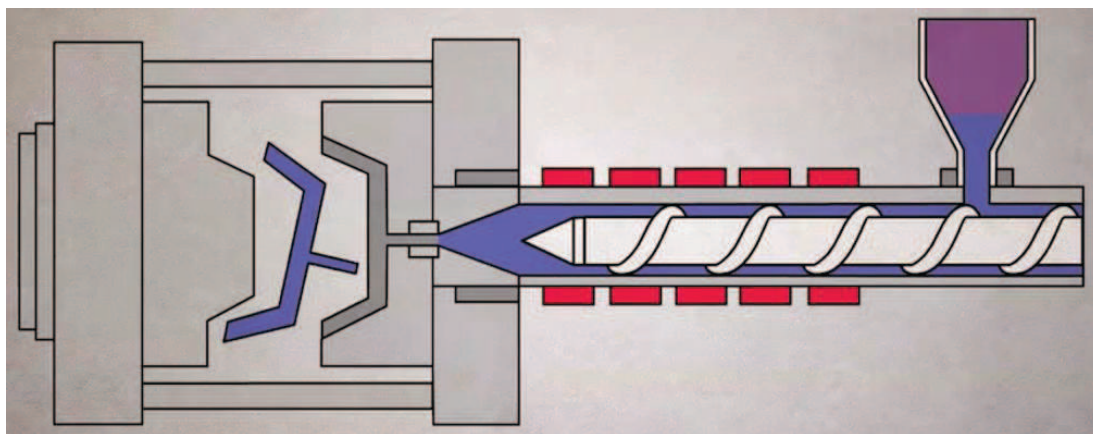
2 TEORIE KE VSTŘIKOVACÍM FORMÁM

Protože konstrukce vstřikovací formy se řídí nejen geometrií vstřikovaného dílu, ale i parametry vstřikovacího stroje a typem zvoleného materiálu, je nutno dobře porozumět konstrukčním zásadám a postupu návrhu forem. Z těchto důvodů se tedy v následujících kapitolách budu věnovat technologii vstřikování, plastům a poté samotné konstrukci formy.

2.1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování se řadí mezi tvářecí technologie, protože roztavená dávka plastu je velkou rychlostí a tlakem dopravována do dutiny vstřikovací formy, kde dochází ke ztuhnutí do finálního tvaru. Díl vyrobený vstřikováním se nazývá výstřik.

2.1.1 Princip vstřikování



Obr. 2.1 Princip vstřikování [11]

Polotovarem pro vstřikování je plast ve formě granulí, který je dopraven do násypky vstřikovacího stroje, odkud je odebírán většinou pomocí otáčejícího se šneku a dopraven do tavicí komory vyhřívané

elektrickými odporovými pásy. Zde je plast roztaven a poté vstříknut do kovové formy, jejíž dutinu vyplní a získá její tvar. Tavenina předává formě teplo, proto je nutné ji temperovat na teploty dle vstřikovaného plastu. Po ztuhnutí se forma otevře a výstřík je vyhozen pomocí vyhazovacího systému formy.

2.1.2 Veličiny ovlivňující vlastnosti výstříků

Výsledkem vstřikovacího procesu má být díl bez vnějších i vnitřních vad, ale protože vstřikování je komplikovaný proces, který ovlivňuje velké množství technologických parametrů, je obvykle nutné delší zkoušení vstřikovacích parametrů a jejich následná optimalizace. Vstřikovací veličiny jsou na začátku zkoušení nastaveny podle zkušeností technologů a podle výsledků simulačních analýz.

Z technologických veličin mají na vlastnosti vstřikovaného dílu hlavní vliv teplota taveniny, vstřikovací tlak, vstřikovací rychlost, teplota formy, velikost dotlaku a doba dotlaku. Technologické veličiny při vstřikování jsou ve vzájemné součinnosti a jejich funkce nelze brát izolovaně. Teplotou taveniny lze snadno řídit zabíhavost plastu v dutině formy. Obecně by měla být co nejvyšší, protože tavenina pak lépe teče, takže stačí menší vstřikovací tlak a výstřík má pak menší vnitřní pnutí. Zároveň ale stoupá hodnota smrštění, protože chlazení začíná na vyšších teplotách. Také se prodlužuje doba chlazení, což má nepříznivý dopad na ekonomiku vstřikovacího cyklu.

Vstřikovací tlak je s teplotou nejdůležitějším parametrem při plnění. Je to tlak pístu na taveninu vztažený na plochu jeho průřezu. Od vstřikovacího tlaku se odvíjí vnitřní tlak v dutině formy, který určuje vlastnosti výstříku. Zvýšením vstřikovacího tlaku mohou zkrátit vstřikovací cyklus, protože s vyšším tlakem poroste i rychlost vstřikování, ale zároveň se musí zvýšit uzavírací síla.

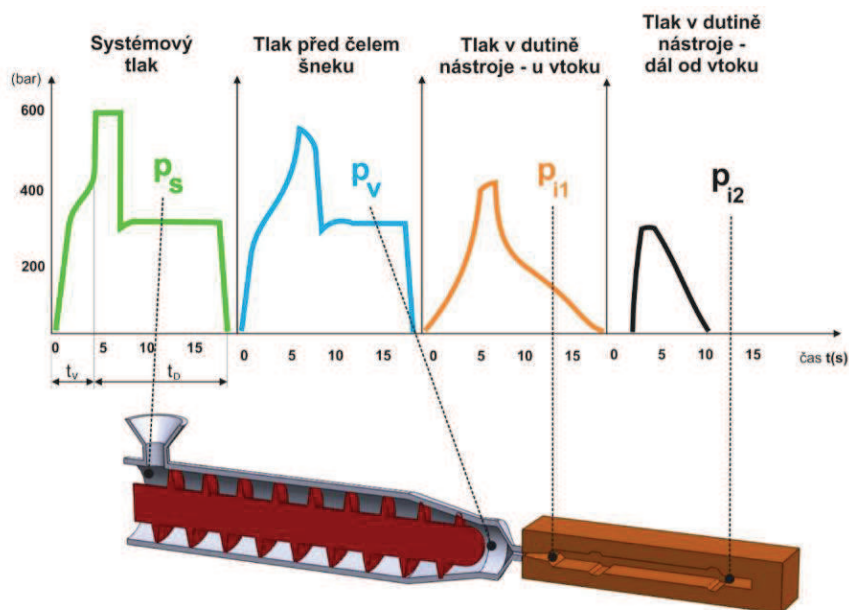
Pro kvalitu výstříku je tak nejdůležitějším tlakem vnitřní tlak v dutině nástroje, označovaný jako p_i , jehož velikost závisí na vzdálenosti od vtoku,

kde je největší a směrem ke vzdálenějším místům v dutině formy se snižuje (viz obr. 2.2).

Tlak před čelem šneku je tlak v dávce roztavené hmoty na čele šneku při vstřikování taveniny do formy. Jeho velikost musí být taková, aby došlo k zaplnění i nejvzdálenějších míst v dutině vstřikovací formy, a tedy k překonání všech hydraulických odporů, ať místních daných geometrií nebo tokových, závislých na viskozitě vstřikované hmoty.

Velikost a doba dotlaku jsou určující parametry pro velikost smrštění během chladnutí výstřiku ve formě. Mají vliv až do doby ztuhnutí taveniny ve vtokovém kanálu a většinou se ukončují ještě před zatuhnutím hmoty, protože jinak dochází k jejímu přetlačení v okolí vtoku. Přepnutí na dotlak se většinou děje po zaplnění 95 až 98% dutiny formy [9].

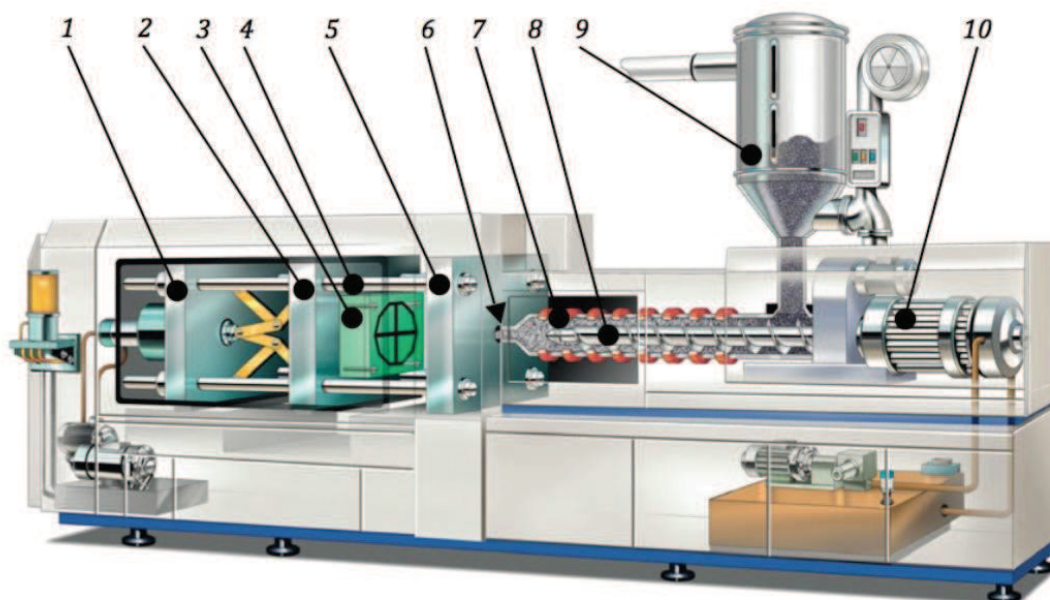
Teplota formy rozhoduje o tvorbě krystalické fáze u semikrystalických plastů, ovlivňuje rychlost plnění dutiny, ale největší vliv má na rychlost chlazení (doba chlazení), a výrazným způsobem ovlivňuje ekonomiku vstřikovacího cyklu. Konkrétní teplota formy závisí na druhu plastu. Teplota formy musí být pomocí chladicích kanálů udržována na stejné teplotě ve všech místech formy, jinak dochází k ovlivnění vlastností výstřiku a k nárůstu anizotropie vlastností.



2.2 Tlakové rozdíly ve vstřikovacím stroji a ve formě [11]

2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj obsahuje dvě základní jednotky – vstřikovací a uzavírací, které jsou na sobě závislé a pracují v součinnosti (viz obr. 2.3).



Obr. 2.3 Vstřikovací stroj [11]

1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikolisu, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstřikolisu, 5 – pevná upínací deska vstřikolisu, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky vstřikolisu, 7 – tavicí komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku

Vstřikovací jednotka zajišťuje dávkování granulátu, jeho následnou plastikaci a po ní vstříknutí taveniny do dutiny formy. Vstřikovací jednotka dále zajišťuje dotlak a posuvy tavicí komory – odsunutí a přisunutí k formě. Pohyby jednotky jsou prováděny hydraulicky, elektricky či hybridně a vstřikování se reguluje pomocí přiváděné hydraulické kapaliny.

Úkolem uzavírací jednotky je přisunutí pohyblivé části formy k pevné a odsunutí pohyblivé části formy po chlazení a následně vyhození výstřiku vyhazovacími komponenty vstřikovací formy.

Činnost uzavíracích a vstřikovacích jednotek se řídí pomocí mikroprocesorů a programů dle typu a výrobce stroje.

Velikost vstřikovacích strojů se určuje pomocí tří základních údajů, kterými jsou vstřikovací kapacita, plastikační kapacita a uzavírací síla (viz tab. 2.1).

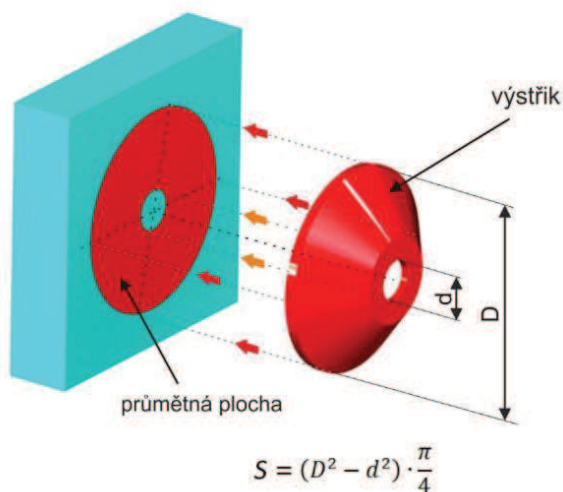
Tab. 2.1 Parametry vstřikovacích strojů Arburg [13]

| Vzdálenosti mezi vodícími sloupy [mm] | | | | | | | | | | | | Uzavírací síly [kN] | Vstřikovací jednotky dle EUROMAP | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|-------------------------------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|--|
| 920 x 920 | 820 x 820 | 720 x 720 | 630 x 630 | 570 x 570 | 520 x 520 | 470 x 470 | 420 x 420 | 370 x 370 | 320 x 320 | 270 x 270 | 170 x 170 | | 30 | 70 | 100 | 170 | 290 | 400 | 800 | 1300 | 2100 | 3200 | 4600 | |
| | | | | | | | | | | | | | Hmotnost vstřikovací dávky v [g PS] | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 9,5 - 14 | 21 - 40 | 29 - 65 | 54 - 105 | 97 - 172 | 141 - 232 | 291 - 434 | 510 - 826 | 723 - 1266 | 1125 - 1860 | 1653 - 2583 | |
| | | | | | | | | | | | | | 125 - 180 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 250 - 400 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 500 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 500 - 700 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 1.000 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 800 - 1.500 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 1.300 - 1.600 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 1.600 - 2.200 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 2.500 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 3.200 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 4.000 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 5.000 | | | | | | | | | | | |

Uzavírací síla je síla vyvolaná strojem pro udržení dělicí roviny v zavřeném stavu při vstřikování, a to tak, aby nedošlo k otevření formy a tedy na výstřiku nevznikaly zástříky a přetoky a nedocházelo k otevírání vstřikovací formy vlivem vnitřního tlaku roztavené hmoty v dutině formy.

Plastikační kapacita stroje představuje maximální množství taveniny v kg zplastikované za jednu hodinu, popř. v gramech za sekundu. Jedná se o zahřátí hmoty na vstřikovací teplotu a zajištění patřičné homogenity taveniny.

Vstřikovací kapacita se určuje z jednoho pracovního zdvihu šneku a je to maximální dávka plastu, kterou lze na daném stroji vystříknout z tavicí komory. Kapacita vstřikovacích strojů je od několika cm^3 pro nejmenší, až po cca. 8 000 – 10 000 cm^3 pro největší vstřikovací stroje.



Obr. 2.4 Plocha pro výpočet uzavírací síly [4]

Výpočet uzavírací síly[12]:

$$F_u \text{ [N]} = S \times p_i \quad (2.1)$$

Kde - S.....průmětná plocha výstřiku [m^2]

p_itlak v dutině formy [Pa]

nebo v praxi používaný vzorec pro hrubý výpočet [4]:

$$F_u \text{ [kN]} = 5 \times S \quad (2.2)$$

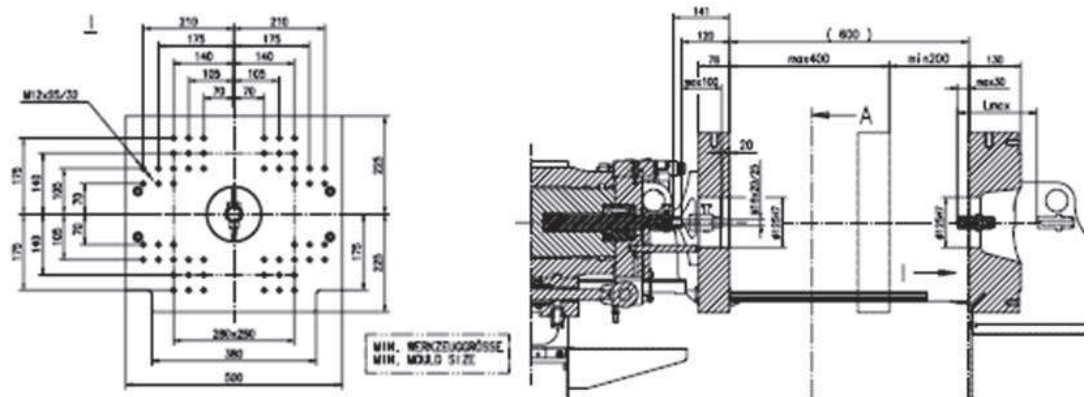
Kde - S.....průmětná plocha výstřiku [cm^2]

5.....koeficient vnitřního tlaku [kN.cm^{-2}]

Kromě výše uvedených parametrů je potřeba na vstřikovacím stroji dodržet další parametry:

- Dostatečná světlost mezi sloupky stroje
- Dostatečně velké rozměry upínacích desek stroje

- Vhodné rozmístění otvorů pro šrouby
- Správná velikost středících otvorů a rádiusů trysky stroje
- Podle výšky formy zvolit dostatečnou velikost otevření a zavření vstřikovacího stroje, což je dáno vztahy: $L_{Smin} > L_F$;
 $L_{Smax} \geq L_F + 2L_v$



Obr. 2.5 Rozměrové parametry vstřikovacího stroje [10]

2.3 PLASTY

Použití plastů coby konstrukčních materiálů se odvíjí od jejich snadné zpracovatelnosti a nízké měrné hmotnosti, která je cca. 5-6 x nižší než u ocelí. Mnohé druhy plastů jsou výhodné svou odolností vůči chemikáliím, včetně silných kyselin, všeobecně mají skvělé elektricky i tepelně izolační vlastnosti. Některé plasty jsou dokonce tak skvělá dielektrika, že jsou jinými materiály nenahraditelné. Mají dobré tribologické vlastnosti – hlavně nízký koeficient tření. Důležitá je i schopnost pohlcovat vibrace a tlumit rázy a v neposlední řadě mají některé polymery výborné optické vlastnosti.

Mechanické vlastnosti mají plasty obecně nižší než kovy, např. modul pružnosti je zhruba stokrát menší než u ocelí, pevnost asi desetkrát. To se však týká pouze plastů bez plniv, kterými je možno pevnost násobně zvyšovat a dostat se až na pevnost běžných ocelí, a to zejména přidáváním skleněných, uhlíkových nebo aramidových vláken a tzv. měrná hodnota mechanické pevnosti, daná podílem pevnosti a měrné hmotnosti, je nakonec u plastů lepší než u ocelí.

K limitujícím faktorům použití plastů patří zejména nízká tepelná odolnost, která u běžných plastů leží zhruba na hranici sta stupňů Celsia. Ovšem plasty pro špičkové aplikace jsou schopny tuto hranici snadno překonat, například polyimidy dokáží krátkodobě vydržet až 700°C.

Plasty společně s elastomery spadají do obecné kategorie polymerů, což jsou makromolekulární látky, připravované polyreakcemi, tedy opakováním základní chemické reakce, kterou je slučování monomerů, za podmínky alespoň dvou funkčních skupin v molekule, schopných další reakce. Elastomery, tedy kaučuky, se pro vstřikování nedají použít, kromě kategorie tzv. termoplastických elastomerů, značených TPE.

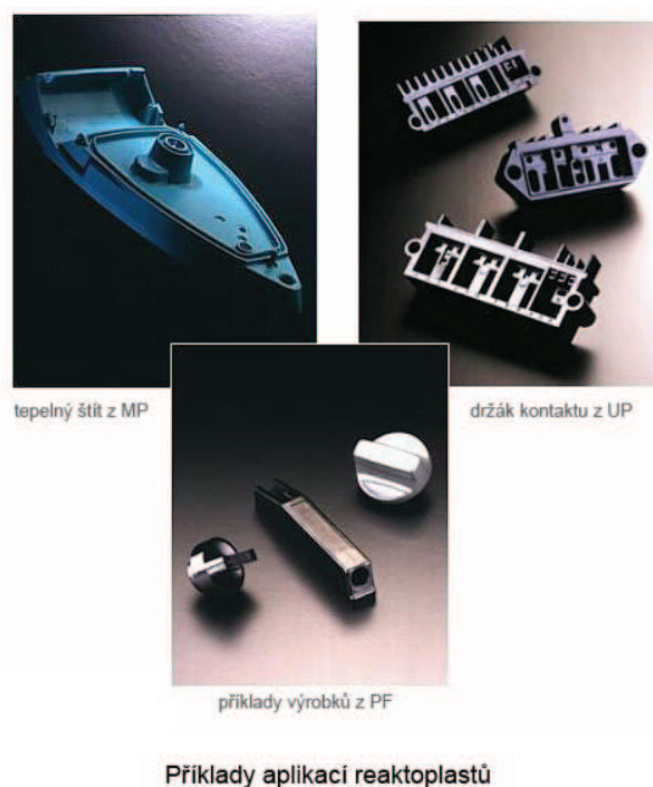
Plasty se podle působení teploty dělí do dvou kategorií, a to na termoplasty a reaktoplasty. Reaktoplasty jsou makromolekulární látky, které v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, ale během dalšího zahřívání začíná polykondenzací docházet k prostorovému zesíťování plastu, tzv. vytvrzování. Reaktoplast po vytvrzení je dále nezpracovatelný a technologický odpad vzniklý při zpracování je nutno ekologicky zlikvidovat. Pro vstřikování jsou reaktoplasty méně vhodné než termoplasty, protože polykondenzační reakce prodlužují dobu vstřikovacího cyklu, nehledě k tomu, že formu je třeba vytápět na příslušnou reakční teplotu.



Příklady aplikací termoplastů

Obr. 2.6 Příklady aplikací termoplastů [12]

Termoplasty zahříváním přecházejí do plastického stavu, kde je možno je tvářet. Do pevného stavu přecházejí ochlazením.



Obr. 2.7 Aplikace typické pro reaktoplasty [12]

Podle tvaru makromolekuly se polymery dělí na lineární, s hladkým řetězcem makromolekuly, který je z termodynamických důvodů svinutý do klubíčka. Plasty s lineárními řetězci jsou obvykle rozpustné a tavitelné, v pevném stavu většinou houževnaté. Pakliže jsou na základním řetězci napojeny krátké boční řetězce, jedná se o polymery s rozvětvenými řetězci. Vlastnosti polymerů s bočními řetězci se odvíjí od jejich velikosti a množství. S větším množstvím bočních řetězců se od sebe makromolekuly oddalují a tím se snižuje velikost mezimolekulárních sil. Nejsložitějším tvarem makromolekul jsou zesíťované, které vytvářejí příčné vazby mezi bočními řetězci a vlastnosti závisejí na hustotě sítě. Se zvyšující se hustotou se zvyšuje tvrdost a modul pružnosti. Zesíťované makromolekuly jsou typické pro reaktoplasty.

Podle nadmolekulární struktury se polymery dělí na amorfní a semikrystalické.

V amorfních plastech zauímají makromolekuly zcela nahodilou pozici a jejich řetězce jsou různě zkrouceny a natočeny. Makromolekula většinou

zaujímá tvar klubíčka, kterému se říká globula a má velikost cca. 20 nm. Globuly, které představují nejnižší stupeň uspořádanosti, se sice mohou sdružovat do složitějších úvarů, zvaných svazky, ale každá globula si zachovává svůj individuální charakter.

Makromolekuly semikrystalických plastů vykazují určitou hodnotu uspořádanosti, tzv. stupeň krystalinity, který lze určit pomocí rentgenových difrakčních metod. Krystalinita dosahuje hodnot 40 – 90% v závislosti na druhu plastu a odtud také název semikrystalické. Snadno krystalizují polymery, které mají jednodušší a pravidelnější řetězce, protože umožňují těsnější uspořádání. Závisí také na linearitě, popř. rozvětvenosti molekulárního řetězce, například lineární polyethylen dosahuje až 90% krystalinity, zatímco polyethylen rozvětvený má krystalinitu pouze cca. 60%. Velikost krystalické fáze závisí na teplotě, rychlosti krystalizace a počtu nukleačních zárodků. V praxi bývá problém udržet krystalizační teplotu na požadované výši, protože ta se odvíjí od teploty formy a vyšší teplota formy prodlužuje čas vstřikovacího cyklu.

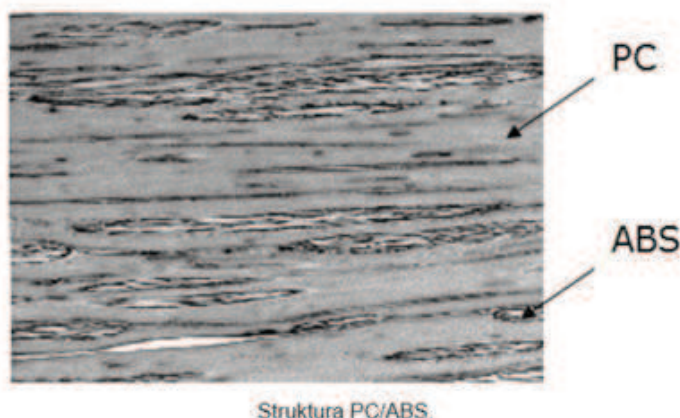
Podle chemického složení se plasty dělí na polyolefiny, chlorované plasty, styrenové plasty, fluoroplasty, akryláty, polyamidy, polyester, vinylové plasty, fenoplasty, epoxidy, polyesterové pryskyřice a aminoplasty (viz tab. 2.2).

Tab. 2.2 Základní rozdělení plastů dle chemického složení [12]

| TERMOPLASTY | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------------|
| <i>Polyolefiny</i> | | <i>Akryláty</i> | |
| PE | polyetylén | PMMA | polymethylmetakrylát |
| HDPE | lineární polyetylén | MBS | metylmetakrylát – butadien – styren |
| LDPE | rozvětvený polyetylén | <i>Polyamidy</i> | |
| UHMWPE | ultravysokomolekulární polyetylén | PA | polyamid |
| PP | polypropylén | <i>Polyétery</i> | |
| <i>Chlorované plasty</i> | | POM | polyoxymetylén |
| PVC | polyvinylchlorid | PFO | polyfenylénoxid |
| <i>Styrenové plasty</i> | | <i>Polyestery</i> | |
| PS | polystyrén | PET | polyethyltereftalát |
| PS-GP | standardní polystyrén | PBT | polybutyltereftalát |
| PS-HI | houževnatý polystyrén | PC | polykarbonát |
| PS-E | pénový polystyrén | <i>Vinylové plasty</i> | |
| SB | styren – butadien | PVAC | polyvinylacetát |
| ABS | akrylonitril – butadien – styren | <i>Ketony, sulfidy, sulfony a imidy</i> | |
| SAN | styren – akrylonitril | PEEK | polyetheretherketon |
| ASA | akrylonitril – styren – akrylát | PPS | polyfenylénsulfid |
| <i>Fluoroplasty</i> | | PSU | polysulfon |
| PTFE | polytetrafluoretylén | PES | polyethersulfon |
| ETFE | etylén – tetrafluoretylén | PI | polyimid |
| REAKTOPLASTY | | | |
| <i>Fenoplasty</i> | | <i>Epoxidy</i> | |
| PF | fenolformaldehydová pryskyřice | EP | epoxidová pryskyřice |
| <i>Aminoplasty</i> | | <i>Polyesterové pryskyřice</i> | |
| UF | močovinoformaldehydová pryskyřice | PESL | polyesterové skelné lamináty |
| MF | melaminové pryskyřice | | |

V této části kapitoly se soustředím na konkrétní typy plastů, které byly vybrány pro vstřikování dílce, a to jsou PC a ABS, protože materiálem pro vstřikování je směs PC/ABS.

Polymerní směs PC/ABS výhodně spojuje vlastnosti obou materiálů. Řeší nízkou chemickou odolnost polykarbonátu a jeho náchylnost ke korozi, ale zachovává dobré mechanické vlastnosti, zejména tuhost a houževnatost a také tepelnou odolnost. Hlavními znaky PC/ABS tedy jsou odolnost proti nárazům i za nízkých teplot, vysoká tuhost, snadná zpracovatelnost, tepelná odolnost, malé smrštění a rozměrová stálost.



Obr. 2.8 Struktura PC/ABS [11]

PC/ABS se používá v automobilovém průmyslu na odkládací schránky, přístrojové panely, příruční skříňky nebo konstrukční výztužné díly sestav (viz obr. 2.9). V elektronice se používá pro rámy televizorů, LCD panely, klávesnice, adaptéry a dobíječky. Výhodou je příznivá cena směsi.



Obr. 2.9 Aplikace typické pro PC/ABS [11]

2.4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je nástroj s tvarovou dutinou, upnutý na vstřikovací stroj, který se během vstřikovacího cyklu plní roztaveným plastem. Výstřik se v dutině formy ochladí až na teplotu, při níž je schopen vyhození z formy. Vstřikovací forma musí zajišťovat technické požadavky, zaručující správnou funkci, tedy zaformování a správné vyhození výstřiku, správné navržení temperačních kanálů a vtoků pro vstřikování taveniny, správné rozměry upínacích desek a roztečí šroubů pro upnutí formy na vstřikovací stroj a výrobu tvarové dutiny v požadované kvalitě. Dalším kritériem optimálního návrhu formy jsou požadavky ekonomické, mezi něž patří volba násobnosti formy, jednoduchá a levná výroba, např. pomocí normalizovaných dílů a co nejvyšší využití zpracovávaného materiálu. Nároky na formy jsou také ze strany snadné manipulace a obsluhy, údržby a skladování.

Vstřikovací formy se dělí podle násobnosti vstřikovaných dílců na formy jednonásobné nebo vícenásobné, které se mohou dále dělit na paralelně uspořádané, kdy jsou výstřiky v dělicí rovině uspořádány vedle sebe, nebo na sériově řazené, kdy se jednotlivé dělicí roviny řadí za sebe a ve výsledku je pak nižší uzavírací síla, která je součinem průmětné plochy výstřiku a tlaku v dutině formy (např. tandemové vstřikování). Další možné dělení je podle uspořádání do hvězdy nebo uspořádání v řadě.

Pro určení násobnosti formy se posuzují zejména charakter a přesnost výstřiku, velikost a kapacita vstřikovacího stroje, požadované množství a velikost dávky. Velkorozměrové a tvarově náročné výstřiky se většinou vyrábějí v jednonásobných formách. Pro kvalitu a přesnost formy je jednonásobnost také ideální – nepřesnosti tvarových dutin zvyšují pravděpodobnost výskytu chyby a např. nedovření jedné dutiny způsobí samozřejmě zástřiky i na ostatních pozicích. Pokud je vstřikovaný díl částí montované sestavy, rozhoduje také četnost jeho zastoupení v dané sestavě.

Násobnost formy se počítá [6]:

1) ze vstřikovací kapacity:

$$n_1 = \frac{x \cdot Q_v}{(M+m)} \quad (2.5)$$

Kde n_1 násobnost formy

Q_v max. zdvihový objem [cm³]

M hmotnost výstřiku [cm³]

m hmotnost vtokového zbytku [cm³]

x mat. konstanta [g.cm⁻³]

2) z plastifikačního výkonu

$$n_2 = \frac{t_c \cdot Q_p}{(M+m) \cdot 3,6} \quad (2.6)$$

Kde n_2 násobnost formy

Q_p plastifikační výkon stroje [kg/h]

t_c celková doba cyklu [h]

3) z velikosti uzavírací síly

$$n_3 = \frac{F}{S \cdot p_i} \quad (2.7)$$

Kde n_3 násobnost formy

F uzavírací síla stroje [N]

S plocha dutiny a kanálů v DR [mm²]

P_i vstřikovací tlak [MPa]

Vhodnou násobností je pak nejnižší hodnota z údajů n_1 , n_2 , n_3 , zaokrouhlená na celé číslo dolů.

Podle způsobu vstřikování se dělí na formy se vstřikem do dělicí roviny nebo na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu, popř. na kombinaci obou způsobů, což jsou např. formy tzv. dvoukomponentní, kdy po 1. vstříknutí kolmo na dělicí rovinu dochází ke vstřiku 2. komponentu do dělicí roviny.

Podle teploty vtokové soustavy se dělí na formy se studeným vtokem, kdy dochází k zamrznutí vstřikované hmoty ve vtokovém kanále, který musí být poté vyhozen z formy společně s dílcem, a na formy s tzv. horkým vtokem, kdy je oblast vtokového ústí vytápěna buď zvnějšku (externí vytápění), nebo zevnitř (vyhříváním torpédem) a v oblasti vtoku je plast stále tekutý. Výhodou je úspora materiálu, nevýhodou jsou stopy po vtoku.

Podle konstrukce se formy dělí na dvoudeskové, které mají pouze jednu dělicí rovinu, na třideskové se dvěma dělicími rovinami, na formy etážové pro tzv. tandem mould, dále na formy čelistové, v nichž má čelist za úkol odformovat výstupky a otvory v bocích vstřikovaného dílce, které nejdou odformovat z dělicí roviny přímo, na formy vytáčecí pro odformování závitů, a na formy speciální, které slouží pro vstřikování některým ze zvláštních vstřikovacích způsobů, např. pro GIT, WIT, PIM, strukturní pěny či „Slush“.

2.4.1 Temperace vstřikovací formy

Teplota formy je jedním z parametrů významně ovlivňujících kvalitu výstřiku, a proto by způsob temperance formy měl být optimalizován, aby bylo možno dodržet kvalitu a typ požadovaného povrchu, rozměrové tolerance dílu, mechanické a fyzikální vlastnosti a velikost deformací. Kvalita temperance formy má také přímý vliv na náklady vstřikovaného dílu.

Nejrozšířenějším způsobem temperace vstřikovací formy jsou kanály s proudící médiem. Obvykle se skládají z temperační a řídicí jednotky, temperačních kanálů, spojovacích a převažovacích prvků a temperačního média, kterým obvykle bývá voda.

Rozměry a rozložení temperačních kanálů ve formě se řídí pouze doporučenými hodnotami (viz tab. 2.3), které jsou v praxi většinou upravovány podle zkušeností vstřikovny s předchozími formami.

Tab. 2.3 Doporučené rozměry temperačních kanálů [11]

| TLOUŠŤKA STĚNY VSTŘIKOVNÉHO DÍLU t [mm] | VZDÁLENOST OSY TEMPERAČNÍHO KANÁLU OD DUTINY VSTŘIKOVČÍ FORMY A [mm] | VZÁJEMNÁ VZDÁLENOST OS SOUSEDNÍCH TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ v [mm] | PRŮMĚR TEMPERAČNÍHO KANÁLU ØD [mm] |
|---|---|---|--|
| 0 - 1 | 10 - 14 | 10 - 12 | 5 - 6 |
| 1 - 2 | 10 - 20 | 12 - 16 | 6 - 8 |
| 2 - 4 | 20 - 25 | 16 - 22 | 8 - 10 |
| 4 - 6 | 25 - 35 | 22 - 28 | 10 - 12 |
| 6 - 8 | 32 - 42 | 28 - 36 | 12 - 16 |
| 8 - 12 | 42 - 55 | 36 - 50 | 16 - 20 |

Vstřikovací forma vytváří uzavřený tepelný systém, v němž roztavený plast do systému teplo vnáší a médium formu ochlazuje tak, aby byla udržována v konstantním rozmezí teplot 2 – 3° C.

Bilanční tepelná rovnice[6]:

$$Q_F[J] = Q_{pl} + Q_r - (Q_{op} + Q_{ov} + Q_{os}) \quad (2.3)$$

Kde Q_{pl}teplo přivedené plastem [J]

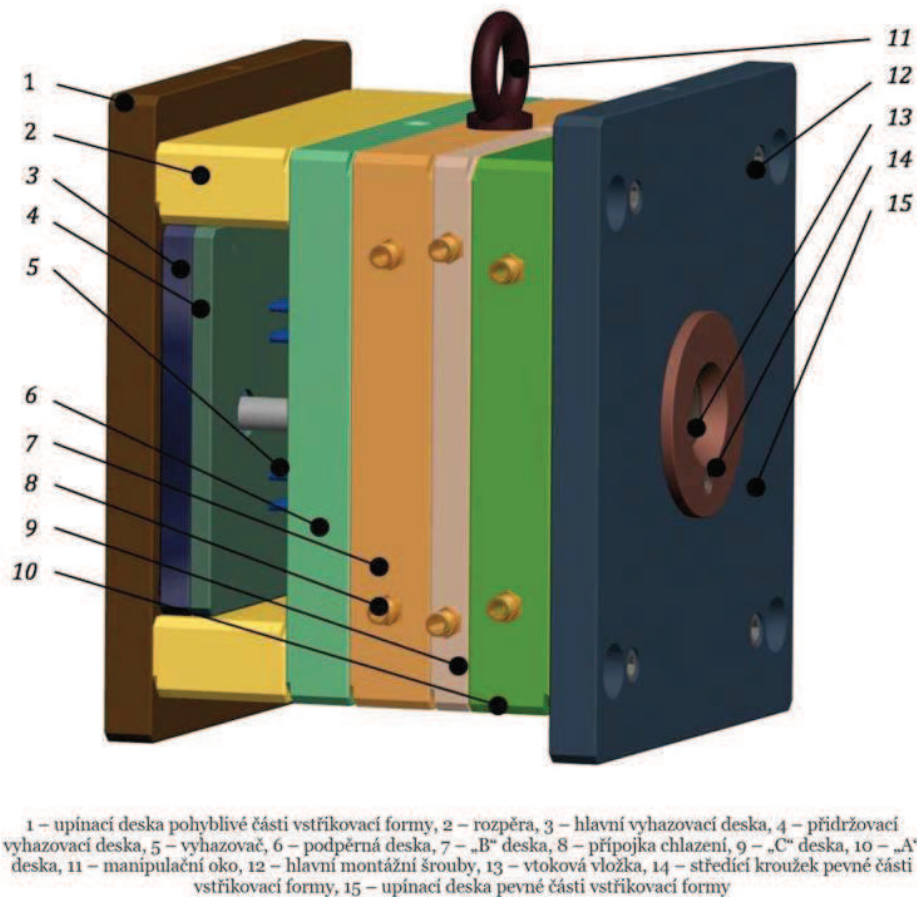
Q_rzbytkové teplo ve formě [J]

$Q_{op,ov,os}$teplo vysálané do okolí [J]

2.4.2 Části vstřikovací formy

Protože typů vstřikovacích forem je mnoho, budou v této kapitole popsány části vstřikovacích forem na dvoudeskové formě. Popis se týká hlavních částí zajišťujících funkce, které musí být zohledněny při konstrukci většiny vstřikovacích forem, tedy vtokových systémů, komponentů tvarové

dutiny zajišťujících zaformování dílů, temperačního systému, systému vyhazování, upínacích desek a jejich rozměrů a transportních prvků (viz obr. 2.10).



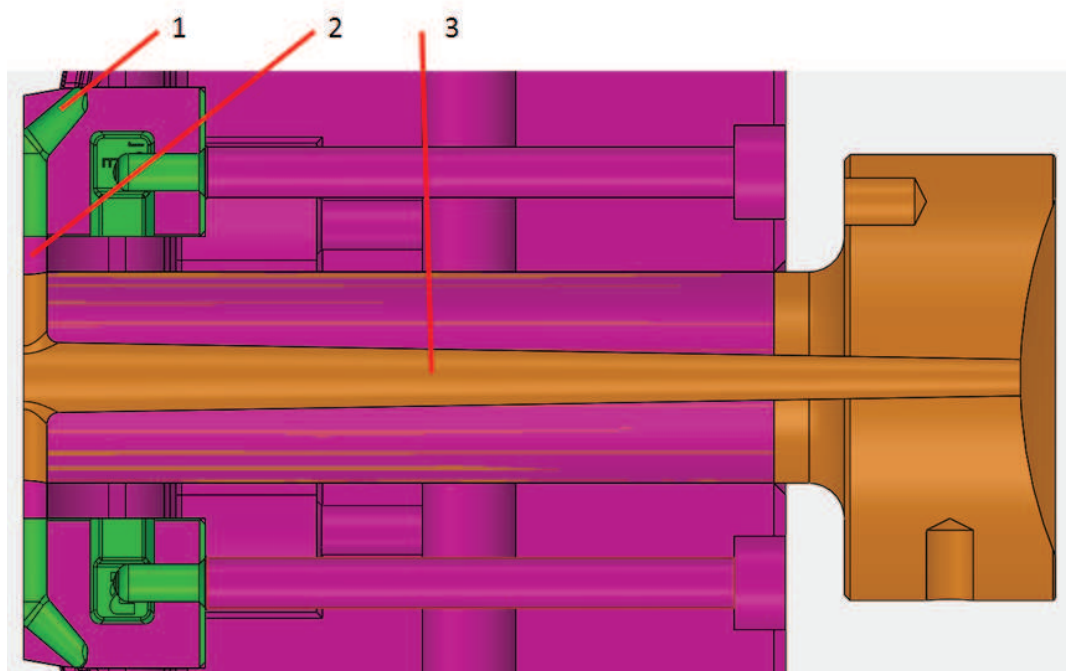
Obr. 2.10 Komponenty vstříkovací formy [11]

2.4.2.1 Vtokové systémy

Vtokové systémy se v zásadě dělí na dva základní typy, a to na tzv. studené a horké. Rozhodnutí o volbě vtokového systému se děje v první fázi návrhu formy a konstrukce formy se od něj odvíjí. Rozhodujícími kritérii pro volbu vtokové soustavy jsou násobnost formy, počáteční investice, náklady na energii a údržbu systému.

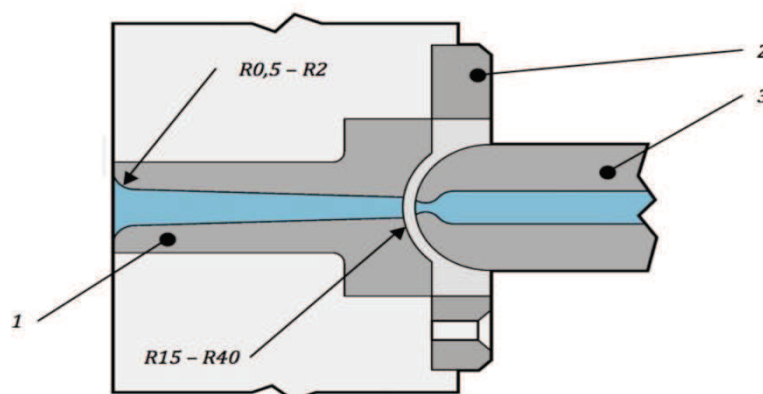
Studené vtokové systémy

Studený vtokový systém je soustava kanálů, která propojuje systém stroje s tvarovou dutinou formy. Studený vtokový systém se skládá (viz obr. 2.11) z vtokového kužele, rozváděcích kanálů (u vícenásobných forem) a ústí vtoku.



Obr. 2.11 1- Ústí toku 2 – Rozváděcí kanál 3 – Vtoková vložka

Vtokové vložky jsou normalizované díly vyráběné se standardizovanými rádiusy pro dosed trysky a normalizovaným vtokovým kuželem (viz obr. 2.12).



Obr. 2.12 1 – Vtoková vložka 2 – Středící kruh 3 – Tryska stroje[11]

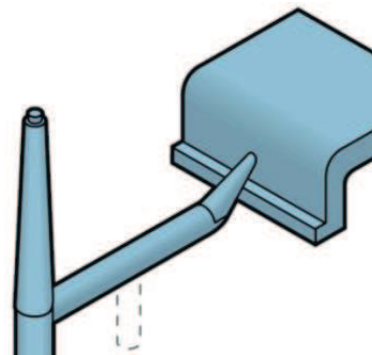
Rozváděcí kanály se ideálně navrhují kruhového průřezu, který má nejmenší hydraulický odpor, anebo půlkruhového, protože je levnější frézovat pouze do jedné z tvarových desek (půlkruhový kanál je výrobně nejlevnější).

Vtoková ústí se dělají v mnoha verzích:

1) Tunelový vtok

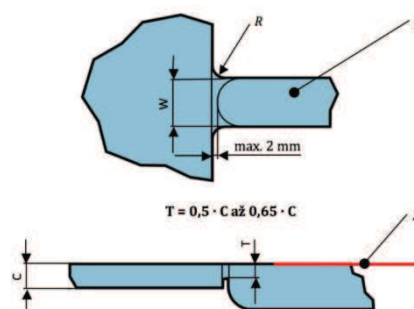
Tunelový vtok se po odtržení od dílu přidrží na vyhazovací straně a poté je vyhozen vyhazovacím systémem formy.

Obr. 2.13 Tunelový vtok [11]



2) Filmový vtok

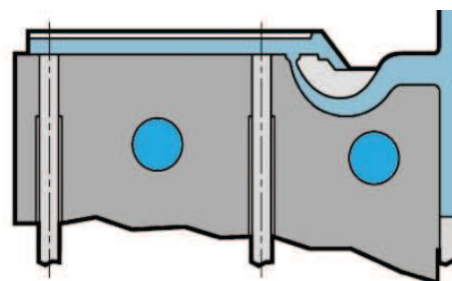
Filmové ústí vtoku je ústí s obdélníkovým průřezem. Vzdálenost mezi vstřikovaným dílem a rozváděcím kanálem by neměla překročit 2 mm, šířka je 0,3-0,7mm.



Obr. 2.14 Filmový vtok [11]

3) Banánový vtok

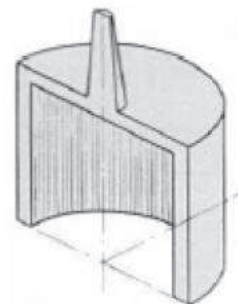
Banánový vtok umožňuje plnění vstřikovací dutiny z opačné strany, většinou se řeší pomocí nákupu normalizovaného dílu, a při pohybu formy dojde k vytažení a odstranění tzv. banánu z výstřiku.



Obr. 2.15 Banánového vtoku [11]

4) Kuželový vtok

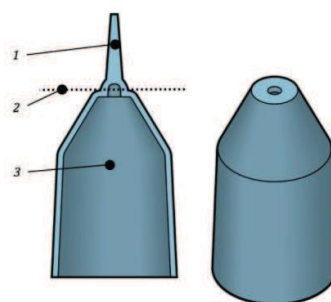
Je nejjednodušším typem, ale odstranění vtoku je pracné a zanechává stopu na výstřiku. Je účinný z hlediska rychlosti plnění a působení dotlaku a používá se převážně pro jednonásobné formy se symetricky uloženou dutinou a pro tlustostěnné výstřiky.



Obr. 2.16 Kuželový vtok [12]

5) Membránový (deštníkový) vtok

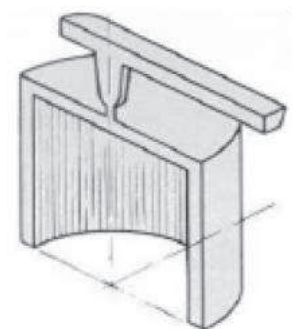
Používá se pro válcové tvary s mezikružím, u nichž je nebezpečí vzniku studeného spoje, pro náročnou a drahou výrobu se používá zřídka.



Obr. 2.17 Membránový vtok [11]

6) Bodový vtok

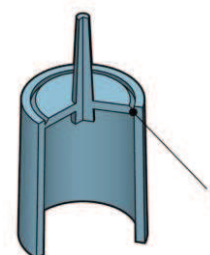
Nejjednodušší typ zúženého vtokového ústí, který zpravidla bývá kruhového průřezu. Vyžaduje však systém třídeskové formy se dvěma dělicími rovinami pro odstranění vtokového kúlu a rozváděcích kanálů.



Obr. 2.18 Bodový vtok [12]

7) Talířový vtok

Používá se pro možnost kontinuálního plnění dutiny výstřiků kruhového charakteru, u nichž by jinak docházelo ke vzniku studeného spoje. Je obdobou membránového vtoku.



Obr. 2.19 Kruhový vtok [11]

Vícenásobné vtoky do jedné dutiny

Plnění dutin forem vícenásobnými vtoky se používá pro výstřiky složitých konstrukcí, u nichž je nebezpečí nedotečení taveniny i do nejvzdálenějších žeber, kde již tlak taveniny není dostatečný. Při setkání proudů taveniny však vznikají studené spoje a problémy s odvzdušněním formy, a proto je použití dalších vtoků nutno pečlivě zvážit.

Rozměry vtokové soustavy

Vtokové vložky bývají normalizovány a obvykle se nakupují u výrobců vstřikovacích komponent a z toho vyplývají i příslušné rozměry rozváděcích kanálů. Rozměry vtokového ústí se obvykle stanovují podle zkušeností a zvyklostí příslušné nástrojárny a vstřikovny a obvykle se kontrolují pomocí simulačních analýz vstřikování taveniny. Výchozím bodem všech úvah o rozměrech vtokové soustavy jsou tloušťky stěn vstřikovaných dílů.

Horké vtokové systémy

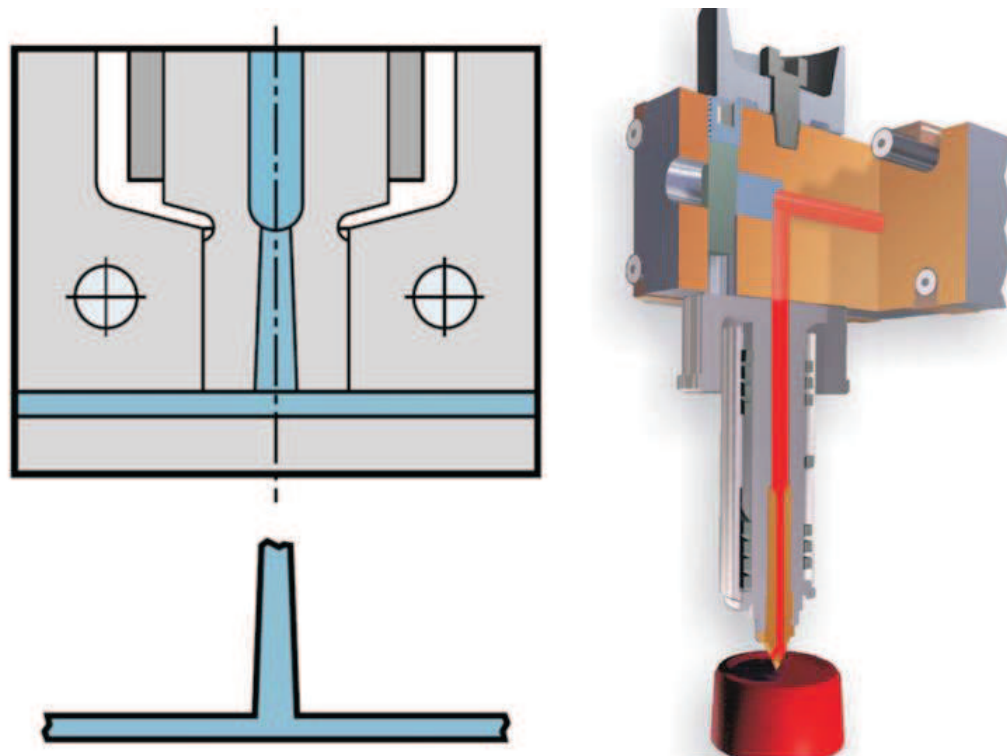
Důvodem použití horkého rozvodu je udržování plastu v tekutém stavu mezi tryskou stroje a ústím vtoku po celou dobu vstřikovacího cyklu. Výhodou horkých rozvodů je absence odpadu ve ztuhlých rozvodných kanálech, nevýhodami jsou nemožnost okamžité změny materiálu (tzv. přejezd materiálu) a vyšší náklady na zařízení.

Horké vtokové systémy se vyrábějí ve třech základních variantách:

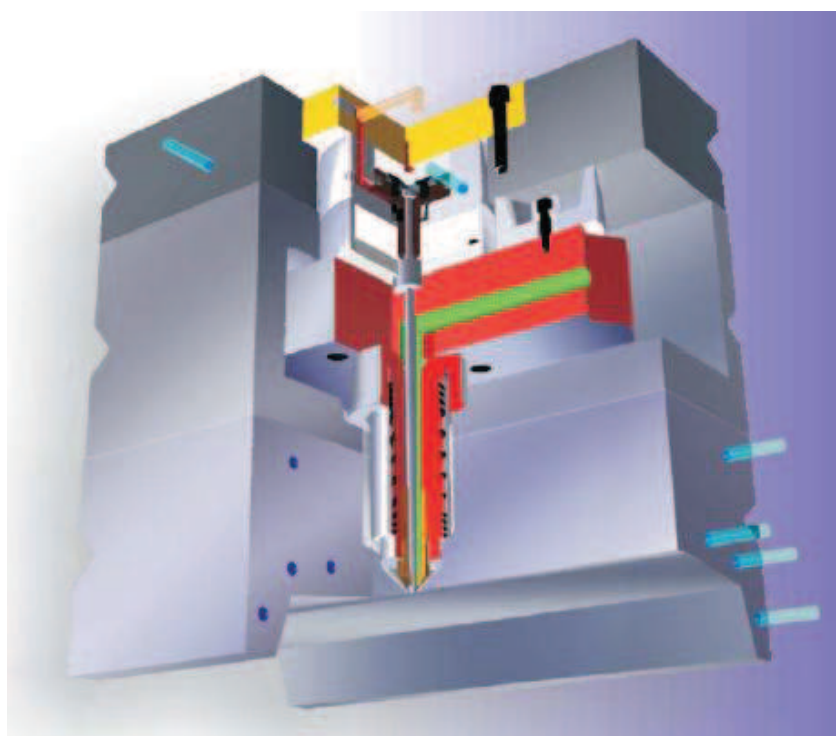
1) otevřené horké systémy, které ovšem zanechávají stopu na vstřikovaném dílci (viz obr. 2.20),

2) otevřené horké systémy s tryskou, která tzv. přežehlí ústí vtoku a na výstřiku zůstávají pouze nepatrné stopy (viz obr. 2.20),

3) systémy uzavíratelné, u nichž nejsou stopy po vtoku patrné (viz obr. 2.21).



. Obr. 2.20 Příklady otevřených horkých systémů bez trysky a s tryskou [8]



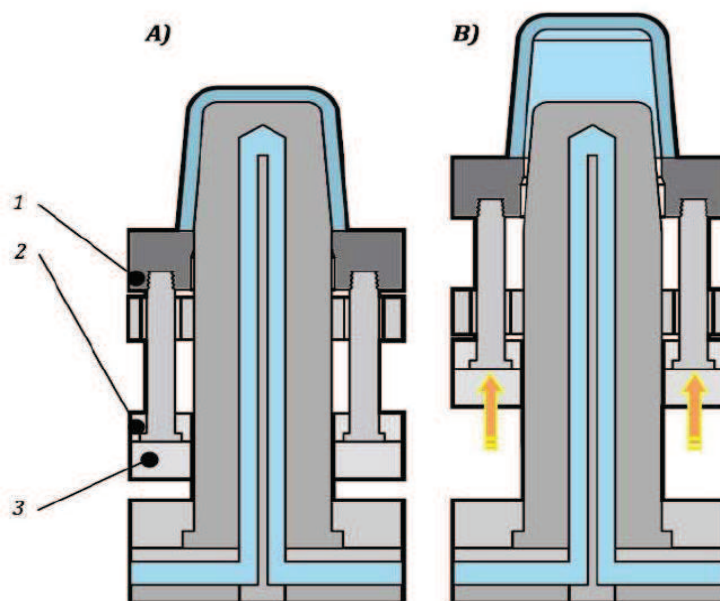
Obr. 2.21 Horký systém uzavíratelný [8]

2.4.2.2 Vyhazovací systémy

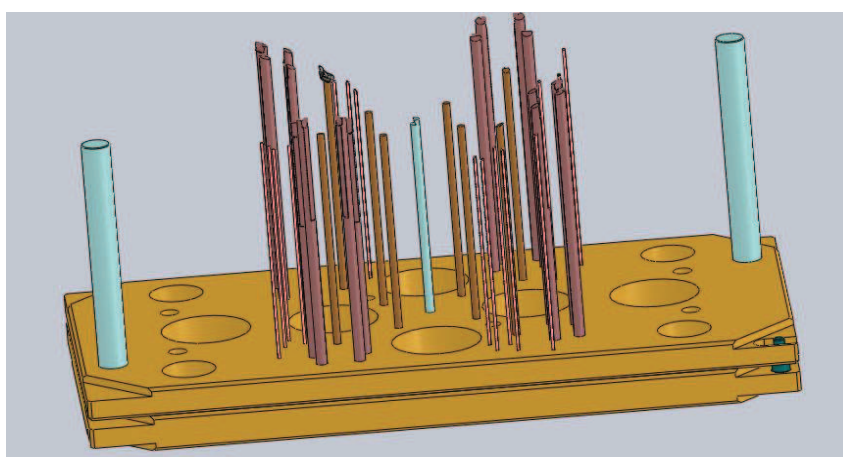
Nejrozšířenějším typem vyhazovacích systémů jsou mechanické, dále mohou být pneumatické, magnetické a hydraulické. Z hlediska konstrukce mé formy se dále věnuji mechanickým.

Konstrukce mechanických systémů se vyznačuje zejména použitím kovových vyhazovacích kolíků, nejčastěji z nástrojové oceli. Volba tvaru a velikosti vyhazovacích kolíků vychází z velikosti a geometrie vstřikovaného dílu, popřípadě z nároků na jeho povrch. Obvykle mají kruhový nebo hranolový průřez, méně často trubkový či speciální. Ve formě jsou většinou uloženy s tolerancí H7/g6, což např. pro kolík kruhového průřezu průměru 5 znamená toleranční pole -0,012/-0,003mm. Změny v uložení se dělají v případě zvýšené tekutosti plastu, např. při vstřikování silikonových bází. Vůle v uložení H7/g6 umožňuje také odvodu dutiny vstřikovací formy a proto se vyhazovače umísťují podle vstřikovacích analýz do míst, kde se předpokládá možnost zavírání vzduchu. Kromě vyhazovacích kolíků se také používá stíracích desek, a to zejména v případech, kdy na výstřiku nesmějí zůstat stopy po vyhazování. Deformace dílu jsou minimální, stírací síla velká a proto se stírací desky používají u tenkostěnných výstřiků nebo naopak rozměrných, s požadavkem na velkou vyhazovací sílu. Stírací deska (1) se dá do pohybu pomocí vyhazovacího paketu – kotevní desky (2), se kterou je spojena šroubem a podkladové kotevní desky (3), které vymezují polohu šroubu. V pozici B) se stírací deska dala do vyhazovacího pohybu (viz obr. 2.22).

Při konstrukci vyhazovacího systému je třeba stanovit zejména osy směru pohybu vyhazování, rozložení vyhazovacích kolíků a síly pro vyhazování, a tedy i případné nasazení stíracích desek. Pohyb vyhazovacího paketu vpřed je většinou řízen strojem, návrat do polohy se děje většinou pomocí vracecích kolíků či přidáných hydraulických komponent.



Obr. 2.22 Aplikace stírací desky [11]

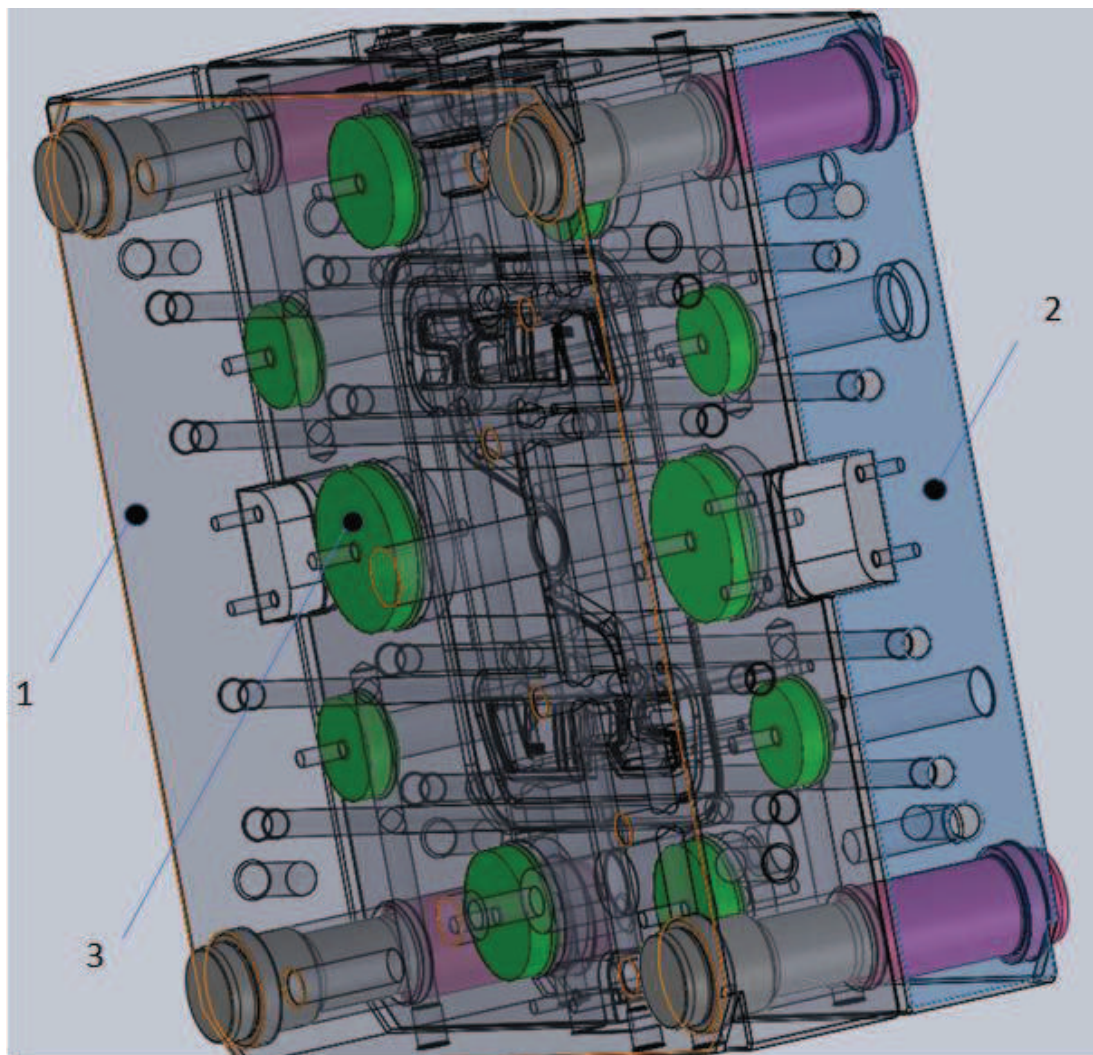


Obr. 2.23 Vyhazovací paket

2.4.2.3 Tvarové desky

Velikosti tvarových desek jsou dány násobností vstřikovací formy a rozměry a geometrií výrobku, výška tvarových desek se odvíjí od vzdálenosti temperačního systému a tvarové dutiny formy. Tolerance tvarové dutiny vychází z tolerančních polí dílu. Umístění dělicí roviny je obvykle možné ve více variantách, záleží na požadavcích na funkci a dezén. Výstřik

se do tvarových desek umísťuje buď priamo, alebo do vložiek vystredených v rámovej formě. Vložkami jsou většinou Tvárník na straně pohyblivé a Tvárnice na straně pevné. Středění do rámových desek se děje pomocí středících klínů, což je samozřejmě výrobně náročnější a dražší, ovšem výhodnější pro montáž a možné pozdější opravy formy, protože vložky se dají snadno vymontovat z dělicí roviny a není potom třeba sundávat formu ze stroje. Pod tvarové desky se umísťují desky podkladové.



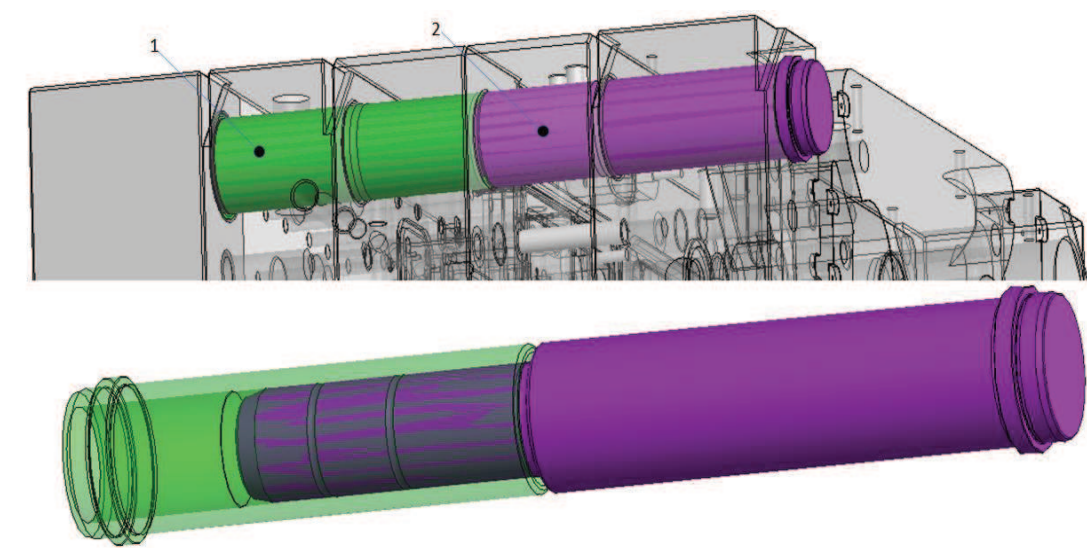
Obr. 2.24 1 - Tvarová deska pevná 2 – Tvarová deska pohyblivá 3 – rozpěrky vymezující polohu obou desek

2.4.2.4 Ostatní části vstřikovací formy

Mezi ostatní části vstřikovací formy patří vodicí sloupky (viz obr. 2.25), rozpěrky a středicí kroužky (viz obr. 2.26), upínací desky (viz. obr. 2.27) a tahací čep (viz obr. 2.27).

Vodicí sloupky, rozpěrky a středicí kroužky

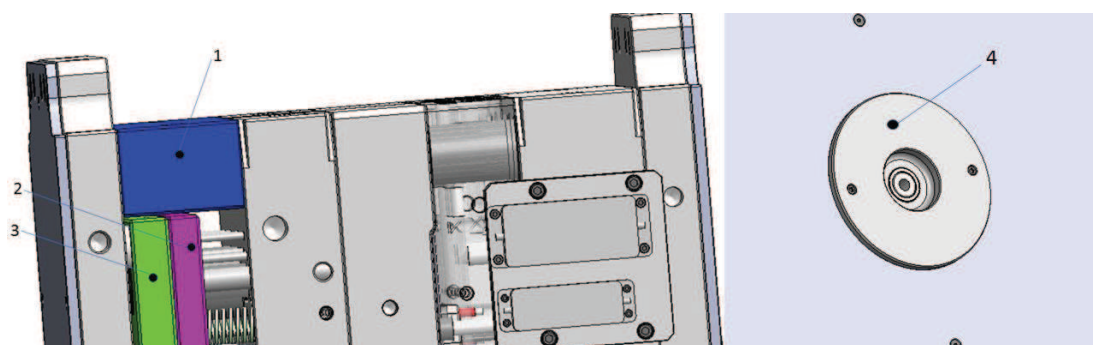
Vodicí sloupky a pouzdra mají za úkol vzájemné středění pohyblivé a pevné poloviny formy a zároveň středění všech desek formy vůči sobě. Většinou se jedná o normalizované díly (viz obr. 2.27).



Obr. 2.25 Sestava a detail vodicího sloupku a pouzdra 1 – pouzdro 2 – sloupek

Rozpěrné desky se vkládají mezi desky upínací a tvarové a vymezují prostor pro krok vyhazovacího systému (viz obr. 2.26).

Středicí kruhy slouží k vymezení souososti formy a vstřikovacího stroje (viz obr. 2.26).

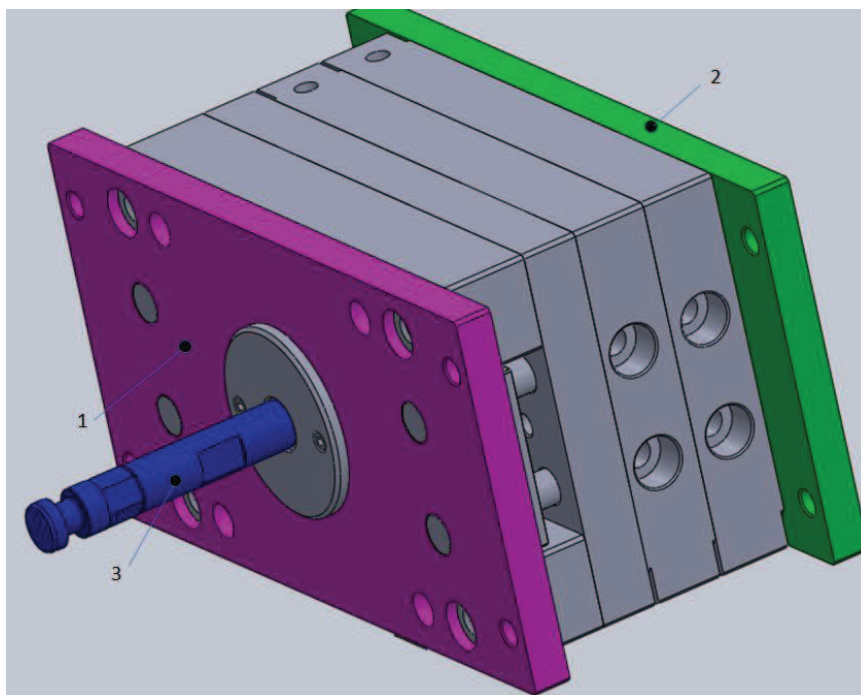


Obr. 2.26 Sestava vyhazovacího systému (1,2,3) 1-Rozpěrka 2-Kotevní deska 3-Opěrná deska; 4-Středicí kroužek

Upínací desky a tahací čep

Velikost upínacích desek spoluurčuje velikost vstřikovacího stroje, na jehož desku se musí přišroubovat a vyhovět tak roztečím šroubů upínací desky stroje. Proto se oproti ostatním deskám vyrábí přesazená, aby se za přesazené partie mohla pomocí normalizovaných upínek přichytit na desku stroje.

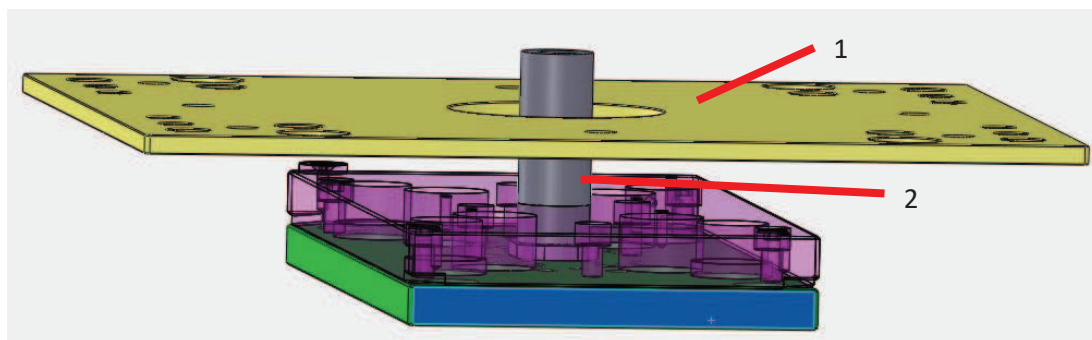
Tahací čep spojuje hydraulický systém stroje s vyhazovacím paketem, k němuž je čep upevněn přes závitovou vložku.



Obr. 2.27 1 – Upínací deska pohyblivé strany 2 – Upínací deska pevné strany 3 – Tahací čep

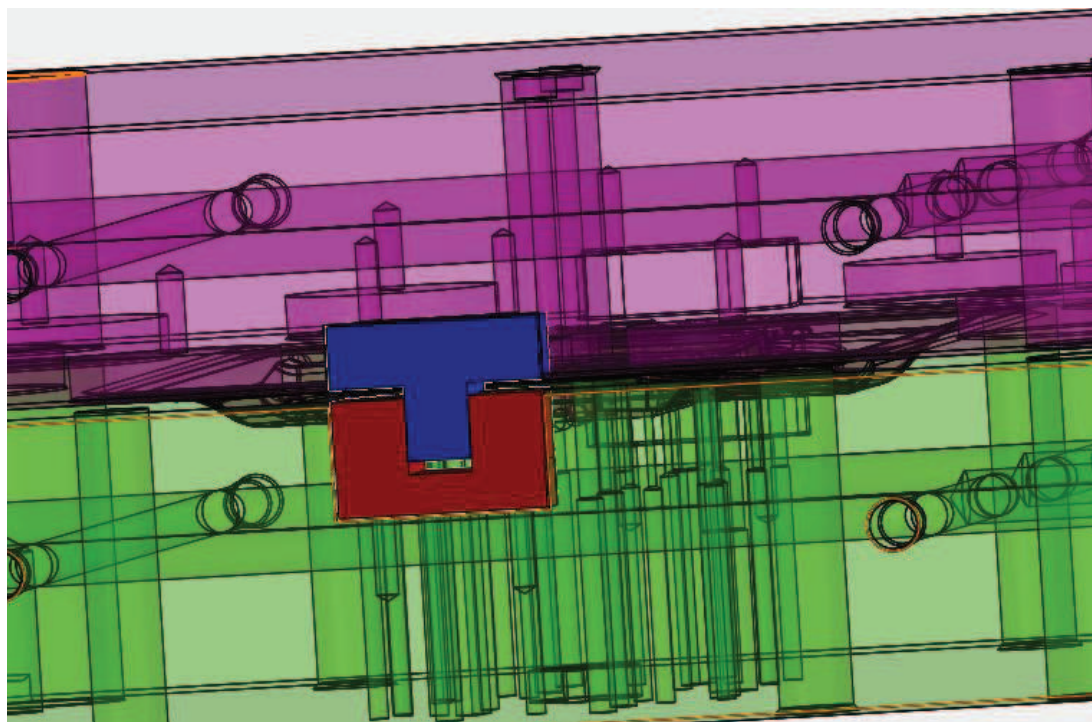
Izolační desky, závitové vložky, středicí zámky, transportní oka

Izolační desky zamezují přenosu tepla od trysky vstřikovacího stroje do formy a zároveň slouží jako ochrana před nečistotami. Vyrábějí se z materiálů s nízkým součinitelem vedení tepla. Závitové vložky slouží ke spojení vyhazovacího paketu s tahacím čepem stroje.



Obr. 2.28 1 – Izolační deska 2-Závitová vložka

Pro vystředění pevné a pohyblivé strany formy vůči sobě se používají nakupované normalizované díly, zvané středicí zámky (viz obr. 2.29) a většinou vyráběné z oceli 1.1730 (19 083).



Obr. 2.29 Středicí zámky

Pro manipulaci s formou se většinou používají transportní oka a transportní trámký, vyráběné jako normalizované díly a používané podle zvyklostí konkrétních vstřikoven.

2.5 MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Zásadní materiálovou volbou pro formu je materiál tvarových desek, který musí odolat teplotě a tlaku taveniny v dutině formy, a to opakovaně, cyklicky. Takovou je v např. ocel 1.2343 (19 552), což je nástrojová ocel s vysokou pevností a vysokou schopností prokalitelnosti, většinou k tvrdostem 50 – 55 HRC. Pro formy s dutinami komplikovaných tvarů, u nichž je nebezpečí prasknutí tvarové desky při kalení, se používají povrchové úpravy, nejběžněji nitridace, s možností dosažení až 65 HRC. Dalším zásadním faktorem je odvod tepla z formy, kdy se u špatně chladielných částí používá rozvložkování, protože uzavřený vzduch může z formy uniknout mezerou mezi formou a vložkou. Materiálem vložky bývá nejčastěji beryliová měď, podle druhu výrobce označovaná jako AMPCO nebo MOLDMAX. Dalším oblíbeným materiálem ve „formařině“ je 1.2842 (19 312), „famierně“ nazývaná „stabilka“, která má vysokou tepelnou odolnost a rozměrovou stálost a proto se obvykle používá pro čelisti a jejich vedení, u nichž by při vyšší tepelné roztažnosti hrozilo zadření. Pro desky vyhazovacího paketu a pro desky rozpěrné, popř. pro rozpěrné válce se také používají oceli třídy 19, ovšem většinou ty méně jakostní, převážně ocel 19 083 (1.1730), která je dostatečně pevná, ale horší pro obrábění a s nižší prokalitelností. Pro upínací desky se mohou použít oceli nižších jakostí, popř. opět ocel 1.1730 (19 083). Vyhazovací kolíky se obvykle vyrábějí z oceli 1.2210 (19 421) se střední prokalitelností a dobrou otěruvzdorností, popř. z oceli 1.2344 (19 554) s nitridovaným povrchem.

Uvedené materiály se mohou samozřejmě různě kombinovat, záleží na předpokládaném počtu cyklů a na druhu vstřikovaného plastu, kdy se např. při vstřikování PVC používá ocel známá jako Inconel, která má vyšší

chemickou odolnost, nebo se aplikují spékané práškové oceli „tvrdokovy“. Pro výrobu prototypových forem se s oblibou používá hliník a jeho slitiny. Protože při výrobě tvarové dutiny je problém se změnou tvaru kaleného materiálu, je možno kalení nahradit použitím jakostnější oceli TOOLOX33/44, která je dostatečně pevná a tvrdá a jejíž povrch lze dodatečně nitridovat.

2.6 CAD/CAM SYSTÉMY A SIMULAČNÍ SOFTWARE - CAE

CAD/CAM systémy

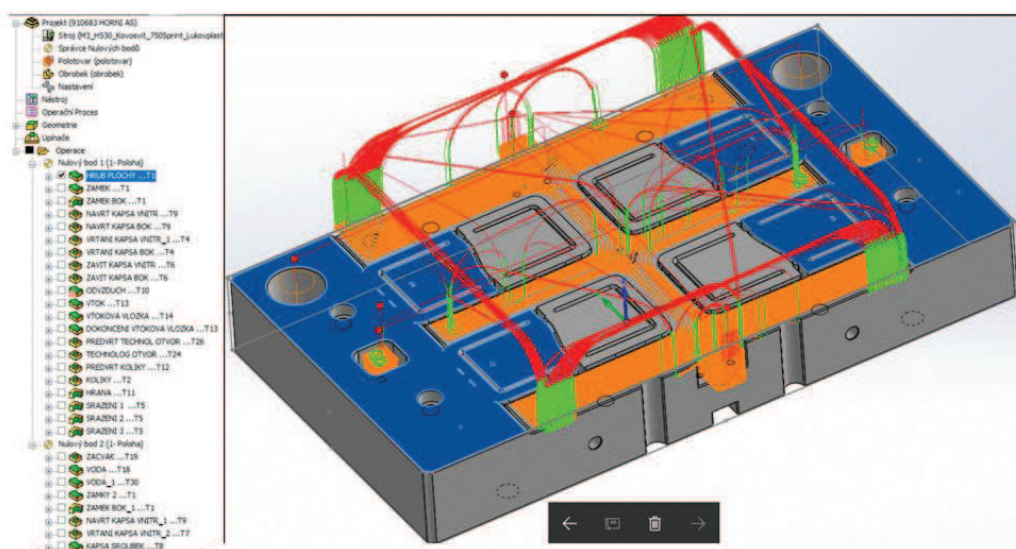
V posledních cca deseti letech se konstrukce forem stala záležitostí 3D CAD konstrukčních programů, usnadňujících vizualizaci představ konstruktérů. Hlavní přínos spočívá v usnadnění komunikace mezi konstruktérem dílu a konstruktérem formy, kdy se každá změna na díle může okamžitě promítnout a zobrazit do vstřikovací formy. Pozitivní je také možnost využívání CAD knihoven a zejména možnost načítání normalizovaných dílců přímo od výrobců v univerzálních formátech typu STEP, IGES či PARASOLID. Problém nastává při komunikaci s nástrojárnou, protože skládané vložky a desky jsou samozřejmě pouze na výkresech a při přenosu dat mohou vzniknout chyby.

Pro usnadnění konstrukce formy vznikají také specializované CAD/CAM softwary přímo pro „formařinu“, se speciálně nastavenými knihovnami a s možností automatického, i když jen hrubého, návrhu formy, který se používá při posouzení konceptu a finanční rozvahy výroby formy.

Zásadní důležitost mají CAD/CAM systémy pro výrobu tvarů v dutině formy. CAM software dokážou načíst data nakreslená v CAD systému a s těmi dále pracovat, což je zásadní při výrobě obecných ploch. CAM software se obvykle rozděluje na 2D, které pracují na základě zadané kontury a je nutno řídit rovinu v ose Z, tedy hloubku frézování. 3D technologie pracují přímo s modelem součásti a při vytváření programu v podstatě kopírují jeho povrch. Kvalita povrchu tvarové dutiny se řídí řeznými podmínkami

a použitými materiály. Po vytvoření povrchu pak patřičný postprocessor vygeneruje příslušný NC kód, určující chování stroje.

Pomocí 3D CAD modelu se řídí i další obráběcí strategie, jako je např. „drátové řezání“, sloužící především pro výrobu přesných děr ve tvarových deskách nebo elektroerosivní hloubení, u něhož lze kromě přesných rozměrů řídit i požadovanou hrubost povrchu či zvolený typ povrchu - od matných až po tzv. pískované povrchy.



Obr. 2.30 CAM frézovací program s CAD modelem

Simulační software

Protože chování plastu v dutině formy je nesmírně komplikovaná záležitost a protože geometrie výstřiku mohou být také velice komplikované, je často nutné navrhnout konstrukci formy pomocí simulace vstřikovacího procesu, což se používá zejména u atypických dílů. Nenáročné díly s menší hmotností a jednodušší geometrií se navrhují podle zkušeností dané nástrojárny nebo vstřikovny a pomocí simulace se ověří, zda navržená forma splňuje vše pro výrobu bezchybného dílu. V zásadě se používají pro čtyři hlavní oblasti, a to tečení (flow), dotlak (pack), chlazení (cool) a analýzu deformací (warpage) [9].

Analýza tečení umožňuje efektivně rozpoznávat problémy s nedostřiky, místa vzniku studených spojů, problémy s uzavíráním vzduchu nebo podchytit tzv. fontánový jev.

Analýza dotlaku vyhodnocuje chování taveniny na konci doby plnění formy a slouží ke stanovení optimální doby a tlaku dotlaku.

Analýza chlazení se používá zejména pro objemnější díly. Ukazuje rozložení teplotního pole na dílu nebo přímo na formě.

Analýza deformací pomáhá předpovídat finální tvar dílu a zkoumat příčiny deformace.

Simulačních softwarů existuje celá řada, mezi nejčastěji používané patří CADMOLD, popř. MOLDEX 3D (viz obr. 2.31).



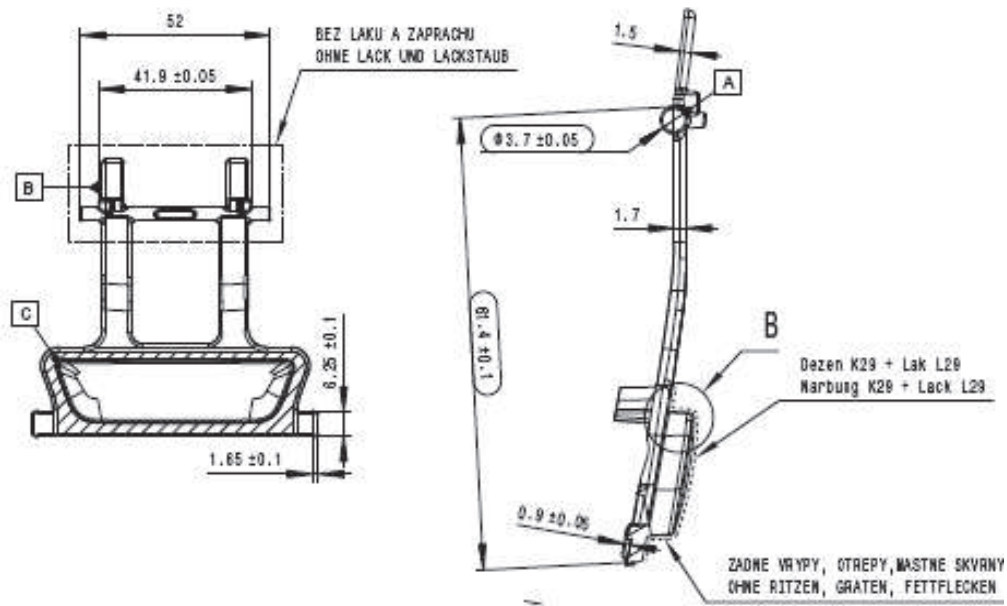
Obr. 2.31 Simulace vstřikování v Moldexu 3D [9]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem diplomové práce je návrh vstřikovací formy pro výrobu plastového dílu. Díl jsem si vybral z nabídky firmy Lukovplast s.r.o.. U vstřikovací formy bude potřeba dodržet násobnost 2, předepsaný materiál, kterým je polymerní směs PC/ABS, směr zaformování a zároveň velikost vstřikovacího stroje, kterým je Engel, typ Victory 50. Všechny tyto požadavky vycházejí z předešlé verze vstřikovaného dílu.

3.1 VSTŘIKOVANÝ DÍL

Díl se nazývá Tlačítko a je součástí větší kinematické sestavy schránky palubní desky osobního automobilu. Díl má vnější maximální rozměry v ose X = 53.15 mm, v ose Y = 72.18 mm a v ose Z = 14,34 mm.



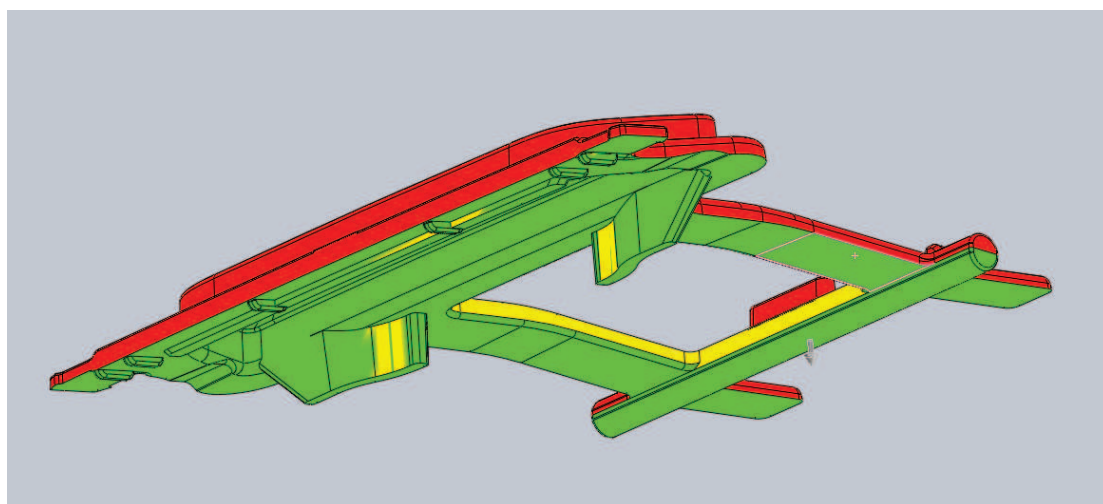
Obr. 3.1 Výkres vstřikovaného dílu

Hmotnostní a rozměrové parametry vstříkovaného dílu jsou v následující tabulce:

Tab. 3.1 Rozměrové vlastnosti dílu Tlačítko

| |
|---|
| Fyzikální vlastnosti 24-11-2016 Tlacitko_1 |
| Konfigurace: Výchozí |
| Souřadný systém: -- výchozí nastavení -- |
| Hustota = 1.07 gramy na centimetr krychlový |
| Hmotnost = 6.23 gramy |
| Objem = 5.82 centimetry krychlové |
| Plošný obsah = 7564.52 milimetry čtvereční |

Díl bylo před započítáním nutno zkontrolovat analýzou úkosu, aby se odhalily případné zápory nebo nedostatečné úkosy – tedy provést kontrolu zaformovatelnosti. Z obr. 3.2 vyplývá, že úkosy na dílu jsou dostatečné, ke kumulaci materiálu v rozích pohledových ploch nedochází a nebude tedy docházet k propadlinám. Protože na bocích pohledové části bude dezén typu jemně pískováno s K 29 (zhruba VDI 24), což znamená dezén hloubky 0,002 mm, je zvolený úkos 2° dostatečný, protože pro tento dezén by stačil i úkos $0,1^\circ$.



Obr. 3.2 Analýza úkosu - Zelené plochy- úkos v pohyblivé části formy nad 1° Červené plochy – úkos v pevné části formy nad 1° Žluté plochy – pro obě poloviny formy úkos mezi $0 - 1^\circ$

3.2 MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO DÍLU

Materiálem vstřikovaného dílu je PC/ABS, který splňuje pevnostní požadavky na díl, a to za relativně přijatelnou cenu. Vlastnosti směsi PC/ABS, jehož výrobcem je firma SABIC, jsou v následující tabulce:

Tab. 3.2 Vlastnosti PC/ABS

Mechanické vlastnosti

| | | | |
|--|-------------------|----------------|-------------------------|
| <u>Napětí na mezi kluzu</u> | <u>ISO 527</u> | <u>52</u> | <u>MPa</u> |
| <u>Tažnost</u> | <u>ISO 527</u> | <u>>50</u> | <u>%</u> |
| <u>E-Modul pružnosti v tahu</u> | <u>ISO 527</u> | <u>2200</u> | <u>MPa</u> |
| <u>Tvrdost podle Brinella</u> | <u>ISO 2039-1</u> | <u>90</u> | <u>MPa</u> |
| <u>Norma pro Tvrdost podle Brinella</u> | - | <u>H358/30</u> | - |
| <u>Izod-vrubová houževnatost při 23 °C</u> | <u>ISO 180/1A</u> | <u>48</u> | <u>KJ/m²</u> |
| - | - | - | - |

Elektrické vlastnosti

| | | | |
|--|--------------------|----------------------------|----------------|
| <u>Permitivita při 50 Hz</u> | <u>IEC 60250</u> | <u>3</u> | <u>=</u> |
| <u>Permitivita při 1 MHz</u> | <u>IEC 60250</u> | <u>3</u> | <u>=</u> |
| <u>Dielektrický faktor ztrát při 50 Hz</u> | <u>IEC 60250</u> | <u>30</u> | <u>1E-4</u> |
| <u>Dielektrický faktor ztrát při 1 MHz</u> | <u>IEC 60250</u> | <u>85</u> | <u>1E-4</u> |
| <u>Průrazová pevnost</u> | <u>IEC 60243-1</u> | <u>35</u> | <u>kV/mm</u> |
| <u>Síla pro průrazovou pevnost</u> | - | <u>1</u> | <u>mm</u> |
| <u>Specifický průrazový odpor</u> | <u>IEC 60093</u> | <u>>10¹³</u> | <u>Ohm · m</u> |
| <u>Povrchový odpor</u> | <u>IEC 60093</u> | <u>1,00E+15</u> | <u>Ohm</u> |
| <u>Odolnost vůči plazivým proudům CTI</u> | <u>IEC 60112</u> | <u>250</u> | <u>=</u> |
| - | - | - | - |

Teplotní vlastnosti

| | | | |
|--|--------------------------------|------------|--------------------------|
| <u>Tepelná vodivost</u> | <u>DIN 52 612</u> | <u>0,2</u> | <u>W/K m</u> |
| <u>Koeficient délkové roztažnosti příčný</u> | <u>ISO 11359</u> | <u>80</u> | <u>10⁻⁶/K</u> |
| <u>Teplota tavení popř. zesklivatění</u> | <u>ISO 11357</u> | <u>130</u> | <u>°C</u> |
| <u>Tvarová stálost za tepla A</u> | <u>ISO 75 HDT/A (1.8 MPa)</u> | <u>100</u> | <u>°C</u> |
| <u>Tvarová stálost za tepla B</u> | <u>ISO 75 HDT/B (0.45 MPa)</u> | <u>122</u> | <u>°C</u> |
| <u>max. teplota krátkodobá</u> | - | <u>120</u> | <u>°C</u> |
| <u>max. teplota dlouhodobá</u> | - | <u>90</u> | <u>°C</u> |
| <u>min. teplota použití</u> | - | <u>-50</u> | <u>°C</u> |
| - | - | - | - |

Oproti hodnotám standardně vstřikovaných materiálů, tedy zejména PP a PE, jsou vlastnosti PC/ABS výrazně lepší, a to např. modul pružnosti v tahu až 4 x vyšší (polypropylen má modul pružnosti 1 600 MPa) a tažnost asi 3 x, při zachování dobré houževnatosti a pevnosti. Směs PC/ABS je lépe zpracovatelná než samotný polykarbonát a přitom zachovává jeho pevnost a houževnatost a zároveň snižuje náchylnost PC ke korozi za napětí.

3.3 STROJ PRO VSTŘIKOVÁNÍ DÍLU



Obr. 3.3 Vstřikovací stroj ENGEL – Victory 50

Strojem pro vstřikování vybraného dílu bude ENGEL typ Victory 50, který patří mezi menší typy vstřikovacích strojů a který má:

- | | |
|----------------------------|--------------|
| - světlost mezi sloupky: | bezsloupkový |
| - rozměry upínacích desek: | 500 x 450 mm |
| - uzavírací sílu: | 280 kN |
| - velikost otevření: | 550 mm |
| - velikost uzavření: | 150 mm |

Kontrola uzavírací síly:

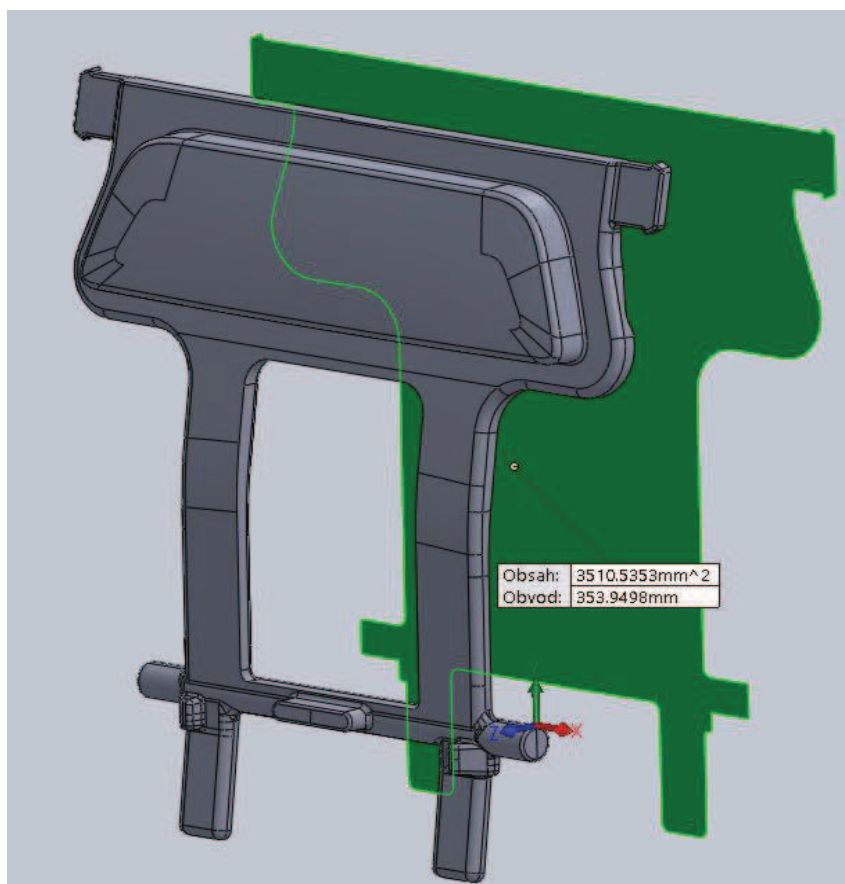
Výpočet uzavírací síly je přesně podle vztahu (2.2) a plocha vstřikovaného dílu je vypočtena v programu SolidWorks 2015 (viz obr. 3.4).

Výpočet uzavírací síly:

$$F_u = 5 \times S = (5 \times 0,351) \times 2 = 3,51 \text{ kN} = 3\,510 \text{ N}$$

$$3,51 \times 2 \text{ (násobnost formy)} = 7,02 \text{ kN} \leq 280 \text{ kN} \rightarrow$$

→ Uzavírací síla stroje je tedy více než dostatečná.



Obr. 3.4 Promítnutá plocha výlisku

Rozměry stroje a údaje důležité pro velikost formy jsou v následující tabulce:

Tab. 3.2 Rozměrové parametry stroje [10]

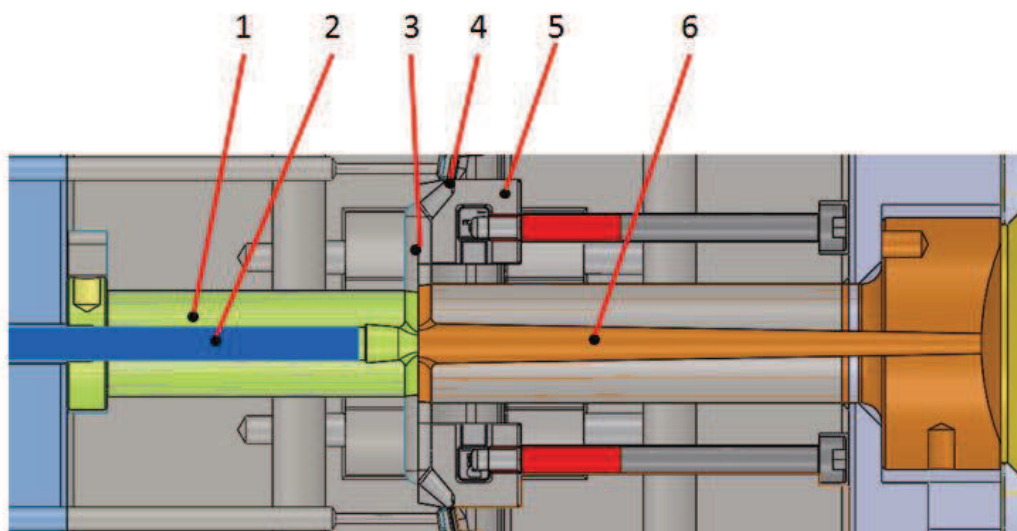
| | | |
|---|----------|-----------|
| Uzavírací síla | to/kN | 28 / 280 |
| Otevírací síla | kN | 16 |
| Max. dráha otevírání | mm | 400 |
| Min. vestavná výška formy | mm | 150 |
| Odstup desek max. | mm | 550 |
| Standardní velikost upínacích desek h x v | mm | 500 x 450 |
| Zvětšené upínací desky / Wide-Platen h x v | mm | - |
| Šířka vypádací šachty Standard | mm | 400 |
| Šířka vypádací šachty Wide-Platen | mm | - |
| Dráha vyhazovače | mm | 100 |
| Síla vyhazovače vpřed / zpět | kN | 40 / 14 |
| Max. hmotnost formy na BAP/Těžiště ¹ | kg / mm | 300 / 133 |
| Počet chladících okruhů nástroje | nx/min | 4x10 |
| Doba běhu naprázdno | sec @ mm | 1.6 @ 150 |

3.4 FORMA

Pro výrobu vybraného dílu byla zvolena dvoudesková varianta vstřikovací formy, která je pro tento díl výrobně i provozně nejméně náročnou variantou. Z hlediska dotlaku je dvoudesková forma horší než tříděsková varianta, a proto je funkce dotlaku ověřena na simulaci dotlaku a na simulaci možných propadlin na dílu. Protože forma má nízkou násobnost a výstřik malou hmotnost, bude mít forma studenou vtokovou soustavu – objem odstraněných vtokových kúlů nebude veliký. Navržená vtoková soustava je ověřena simulací plnění dutiny vstřikovací formy. Rozměry desek použitých na formě vyjdou z rozměrů dílu a požadavků vstřikovacího stroje.

3.4.1 Vtoková soustava

Vtoková soustava se skládá ze tří hlavních částí, a to z vtokového kúlu, rozváděcího kanálu a vtokového ústí. Návrh vtokové soustavy vychází ze zkušeností z předešlých forem a vzhledem k násobnosti je vtoková soustava symetrická. Protože navržená vtoková soustava je studená, je z hlediska ekonomiky důležité navrhnout rozměry co nejmenší a zajistit co nejmenší odpad. Zároveň je nutno zajistit odtržení vtokové soustavy od dílu a její přidržení na pohyblivé straně formy (obr. 3.5).



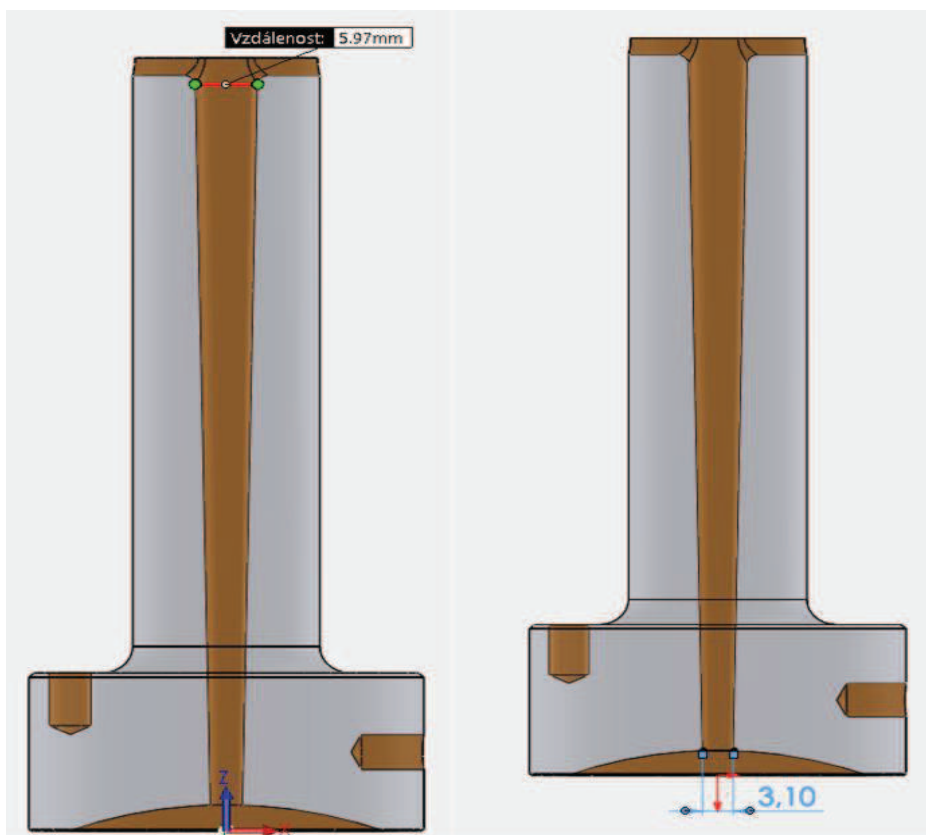
Obr. 3.5 Vtoková soustava – 1-Vtokové pouzdro s podkosem 2-Vyhazovač vtoku 3-Rozvodný kanál 4-Vtokové ústí 5-Vtoková vložka 6-Vtokový kužel

Vtokový kužel

Vtokový kužel slouží k rozvodu taveniny od trysky vstřikovacího stroje k rozváděcímu kanálu. Při vyhození výstřiku z formy musí být vtokový kužel také odstraněn, aby mohla být vstříknuta další dávka plastu.

Rozměr vtokového kuželu v horní, k trysce dosedající části, by měl mít minimálně dvě třetiny rozměru maximální tloušťky dílu. Největší tloušťka výstřiku je 3,7 mm, z čehož vyplývá, že rozměr vtokového kuželu (obr. 3.6) je více než dostatečný, což sice není z ekonomického hlediska ideální (rozměry normalizovaných dílů jsou fixní), ale naopak výhodné z hlediska dotlaku. Minimální rozměr vtokového kuželu u rozváděcího kanálu by měl být větší než jedna třetina maximální tloušťky stěny výrobku, což je také zajištěno (obr. 3.1).

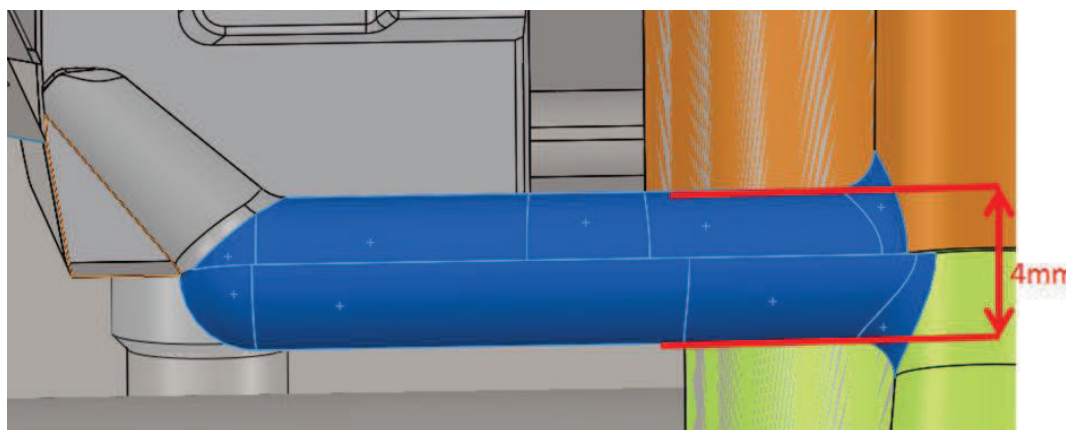
Vtokový kužel je řešen nakupovanou vtokovou tryskou od firmy Meusburger, která se vyrábí z oceli 1.2826 (19 314), která vyhovuje jak rozměry vtokového kuželu, tak zástavbovými rozměry formy.



Obr. 3.6 Rozměry vtokového kuželu

Rozváděcí kanál

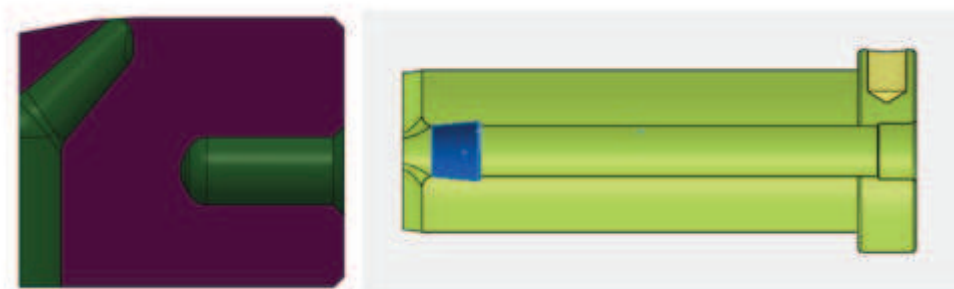
Rozváděcí kanál slouží k přepravě taveniny do všech pozic formy, tedy k rozvedení taveniny od vtokového kuželu ke vtokovému ústí. Průměr rozváděcího kanálu by měl být zhruba 1,5 tloušťky stěny výstřiku v místě ústí [2], což je zajištěno (obr. 3.7). Rozvodný kanál má kruhový průřez, což je nejvýhodnější z hlediska hydraulických ztrát a proto bude nafrézován do obou tvarových desek.



Obr. 3.7 Rozváděcí kanál

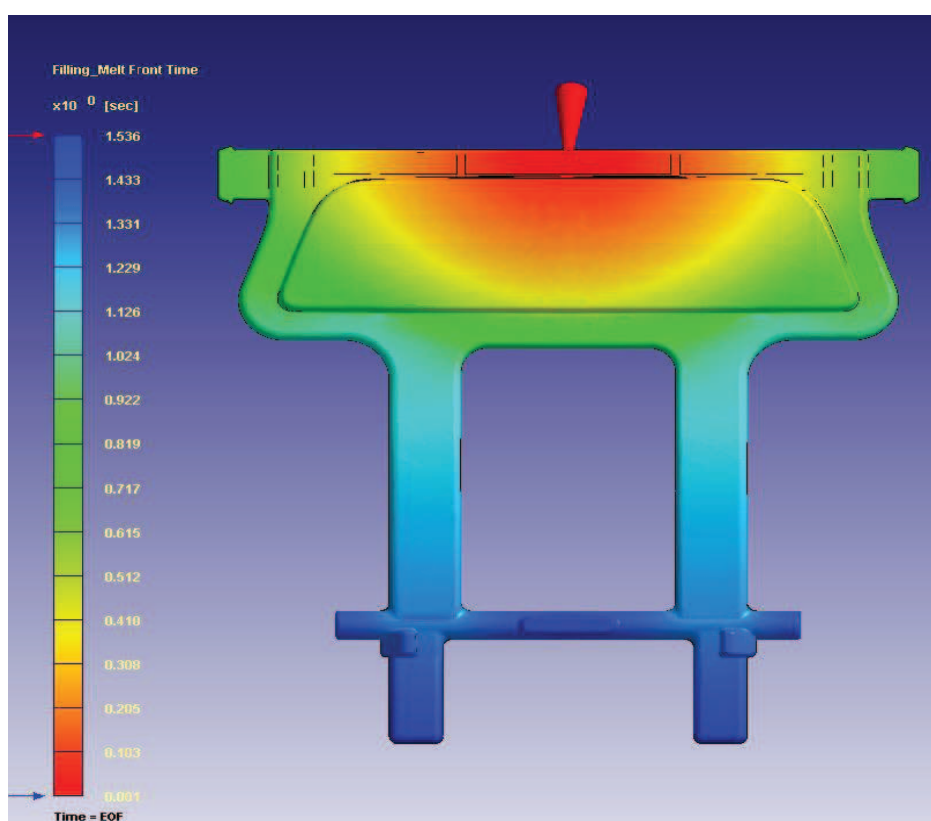
Vtokové ústí

Zvoleným typem vtokového ústí je tunelový vtok, který je ideálním řešením pro dvoudeskovou variantu formy a u něhož dochází k odstřížení výstřiku při pohybu vyhazovací poloviny formy. K odstřížení dochází díky vložce tunelového ústí (viz obr. 3.8) s efektivním průřezem $0,74 \text{ mm}^2$, která je našroubována do vstříkovací poloviny formy a v bodě ústí vtoku do výrobku dojde k odtržení vtokové soustavy. Zároveň musí být vtoková soustava i s tunelovým ústím přidržena na vyhazovací straně pomocí kuželového podkosu ve vtokovém pouzdře (obr. 3.8), který vtokový systém vytáhne z pevné poloviny formy. Poté se dá do pohybu vyhazovací paket s vyhazovačem vtoku, který z vyhazovací poloviny formy odstraní jak výrobek, tak vtokové kůly. Poté se forma uzavře a celý proces se opakuje. Vtokové pouzdro a vložka jsou nakupované normalizované díly z materiálu 1.2826, což je nástrojová ocel s dobrou houževnatostí a tepelnou odolností.

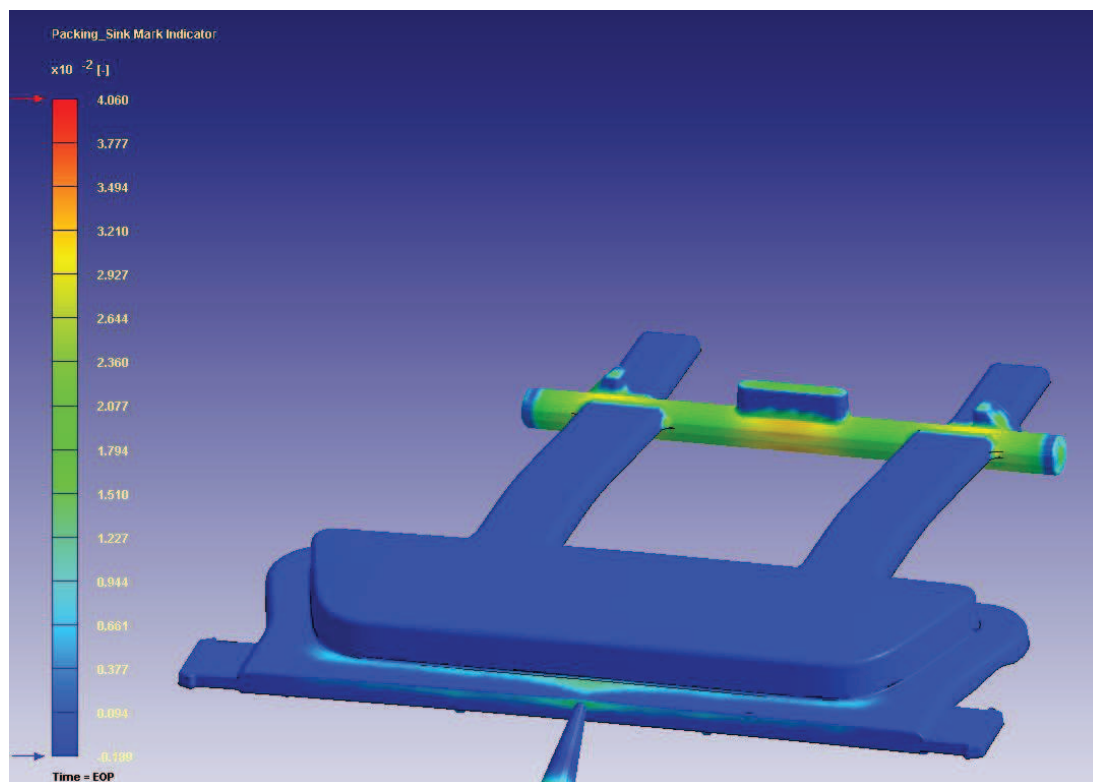


Obr. 3.8 Vtoková vložka a pouzdro, modře přidržovací podkos

Vstřikovací soustava byla navržena a ověřena pomocí simulace plnění dílu a pomocí simulace možných propadlin při dotlaku na díle v softwaru MOLDEX 3D. Analýza plnění dílu ukazuje dotečení plastu do všech míst tvarové dutiny ve stanoveném čase (obr. 3.9) a dotlačení dílu je také bez propadů na tvaru dílu (obr. 3.10).



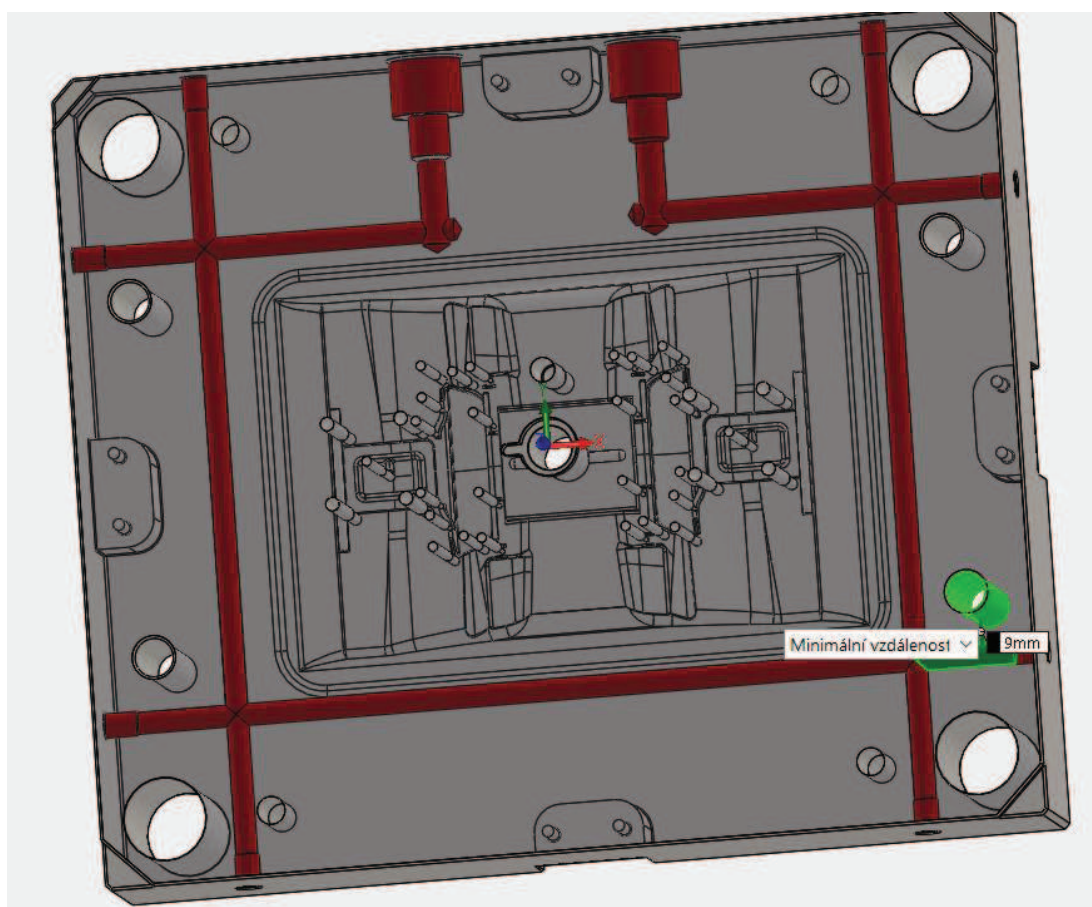
Obr. 3.9 Dokončení plnění Tvarové dutiny v čase 1,54 s



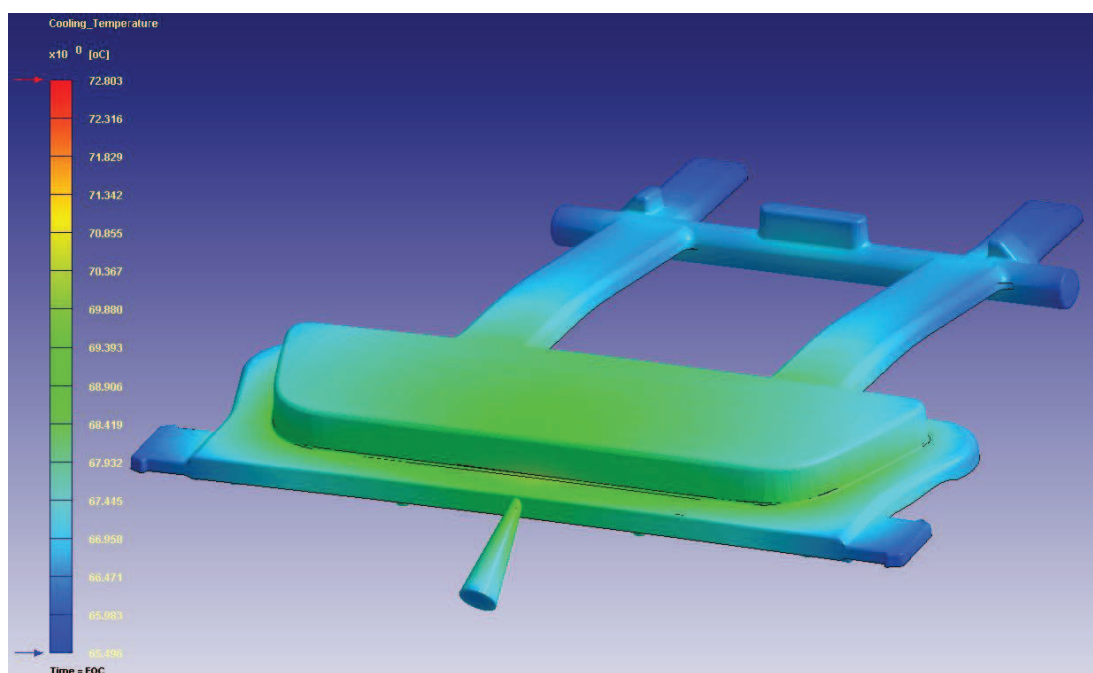
Obr. 3.10 Propadliny při dotlaku

3.4.2 Temperační okruh

Temperační okruh byl navržen podle zkušeností z konstrukce podobných forem. Bylo nutno dodržet některé základní požadavky bezpečnosti, například vzdálenost od dutiny formy minimálně 6 mm a minimální vzdálenost od otvorů pro vyhazovací kolíky, která je 4 mm (obr. 3.11). Protože vstřikovací forma je pouze dvounásobná, a protože vyráběný díl má malou hmotnost (6,18 g; viz tab. 3.1), nebude pro temperační okruh problém ochladit formu na správné rozmezí teplot, což je zkontrolováno simulací rozsahu teplot výrobku v průběhu vstřikování (obr. 3.12). Vzhledem ke geometrii dílu jsou temperační okruhy stejné na obou tvarových deskách – Tvárníku i Tvárnici. Průměr temperačních kanálů je 8 mm, vstupy do temperační soustavy jsou nakupované normálie firmy Meusburger. Temperační okruh má za úkol zajistit rozmezí teplot u výstřiku v rozsahu cca 3° C (viz obr. 3.12).



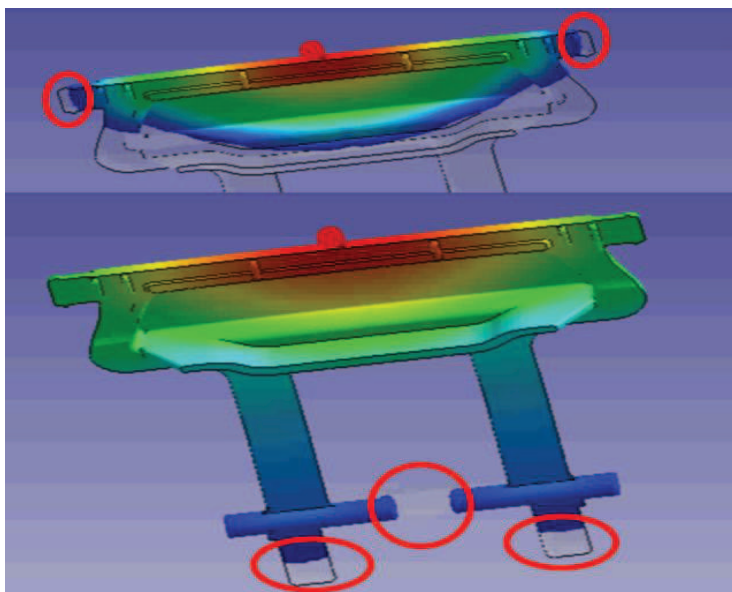
Obr. 3.11 Temperační okruh Tvárníku



Obr. 3.12 Rozsah teplot na výrobku při vstřikování 66° C – 69° C

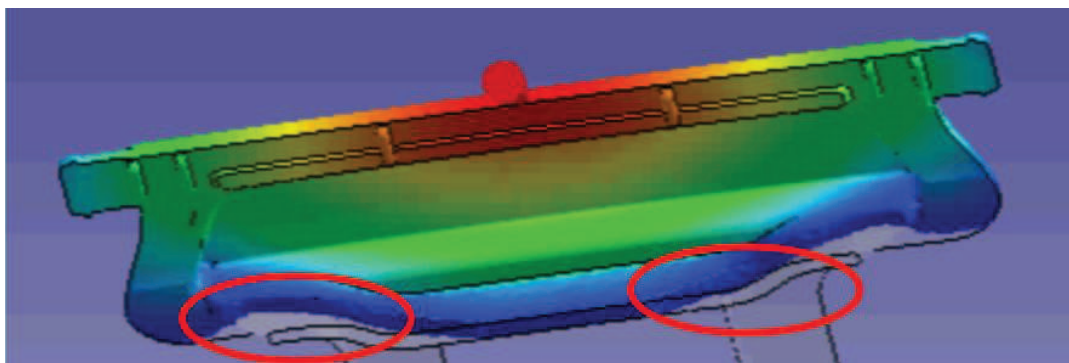
3.4.3 Vyhazovací systém

Vyhození výstřiku z formy je provedeno mechanicky, pomocí vyhazovacích kolíků firmy Meusburger, z materiálu 1.2210 (19 482), což je ocel s dobrou otěruvzdorností. Vyhazovací kolíky jsou zakaleny na hodnotu 55 HRC a umístěny podle simulační analýzy do míst, kde je největší nebezpečí uzavření vzduchu a může tedy dojít k případnému vzniku tzv. Diesel efektu – spálení plastu vlivem komprese zbylého vzduchu a samovznícení.

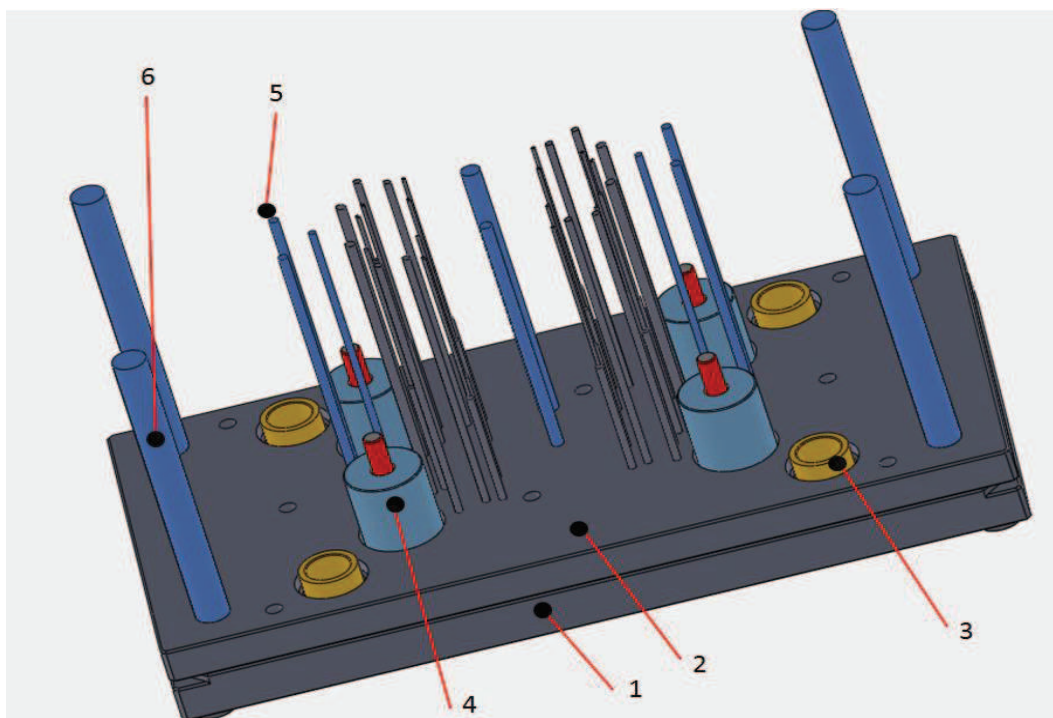


Obr. 3.13 Místa s uzavřeným vzduchem

Obr. 3.13 ukazuje místa, odkud může uzavřený vzduch utéct dělicí rovinou, a tedy nehrozí vznik Diesel efektu. Jediné místo, odkud uzavřený vzduch nemůže utéct, jsou spodní části 2,5 mm hlubokých žebrek, a proto bude do místa, jež ukazuje analýza, potřeba umístit vyhazovače (obr. 3.14).

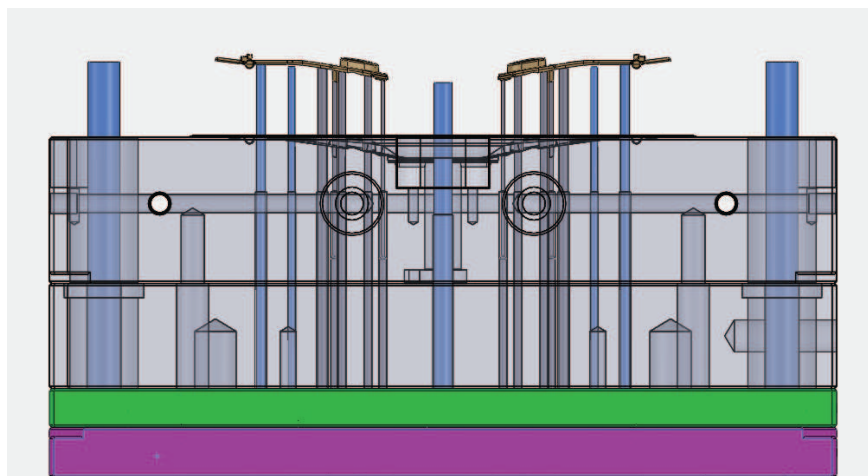


Obr. 3.14 Uzavřený vzduch v žebrech



Obr. 3. 15 1-Podkladová deska 2-Kotevní deska 3-Středící pouzdro
4-Rozpěrný válec 5-Vyhazovací kolík 6-Vracecí kolík

Středící pouzdra z materiálu 1.7131 (19 083) zajišťují souosost Kotevního paketu se zbytkem formy, vracecí kolíky z 1.2210 (19 421) navracejí Kotevní paket do výchozí polohy, rozpěrný válec (1.1730-19052) podpírá nejvíce namáhaná místa podkladové a tvarové desky. Podkladová a kotevní deska jsou vyrobeny z 1.1730 (19 083) a zajišťují ukotvení a polohu vyhazovacích částí.

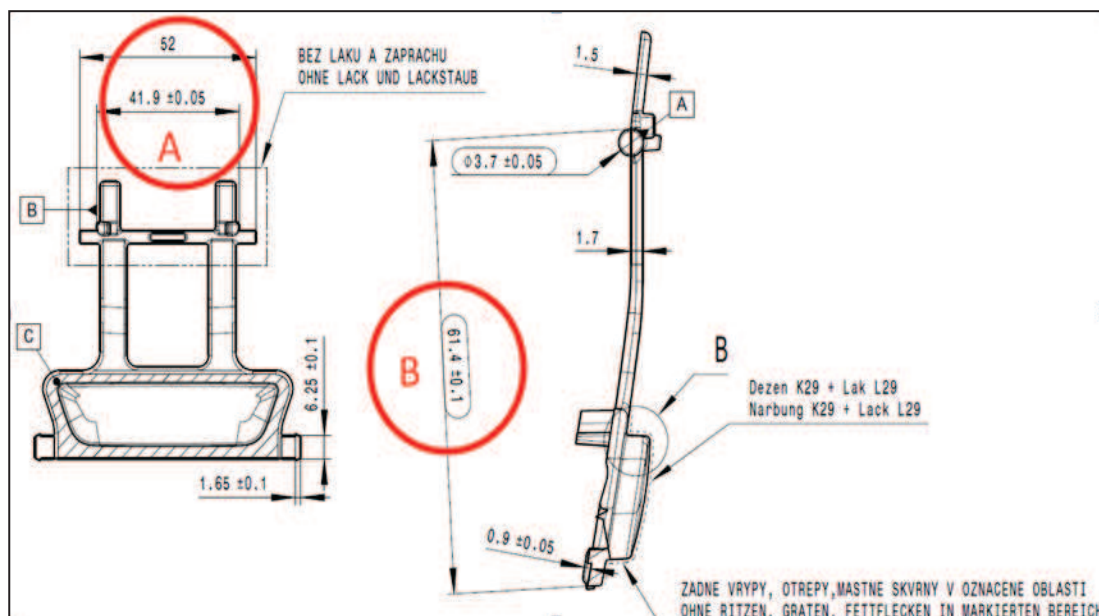


Obr. 3.16 Krok vyhazovacího systému

Krok vyhazovacího systému musí být vždy větší než nejhlubší místo dutiny od dělicí roviny v příslušné ose tvarové desky, aby výstřík mohl volně odpadnout do připravených sběrných beden. Výška tvarové dutiny v nejhlubším místě ve Tvárníku je 9,15 mm, krok vyhazovacího paketu je 33 mm a z obr. 3.16 je dobře patrné, že díl má při vyhození dostatek prostoru.

3.4.4 Tvarové desky

Rozměry tvarových desek, tedy tvarová deska pevné strany formy (Tvárnice) a tvarová deska pohyblivé strany formy (Tvárník), vycházejí z požadovaných tolerancí (obr. 3.17) dílu daných výrobním výkresem a přes smrštění přepočítaných na dutinu formy. Rozměrově zásadní jsou v sestavě vrch pohledové části a bok pohledové části, které jsou zároveň i funkční částí výstříku a jejichž poloha je vymezena pomocí zácvků v ose X (obr. 3.17/A). Druhou rozměrově zásadní částí je otočný čep a jeho poloha v ose Y (obr. 3.17/B).



Obr. 3.17 Výkres vstříkovaného dílu

Výpočet klíčových rozměrů a tolerančního pole dutiny vstřikovací formy je proveden na základě stanovených hodnot smrštění a na základě požadovaných tolerancí vstříkovaného dílce:

Poloha v ose X:

$61,4 \pm 0,1\text{mm} - 50 \% \text{ tolerance na možné úpravy} \rightarrow 61,4 - (0,2-0,1) = 61,3$

Smrštění dílu: $0,6\% \rightarrow 61,4 * 0,006 = 0,37\text{mm} \rightarrow 61,3 + 0,37 = 61,67 \text{ mm}$

Výrobní tolerance = $0,1 \text{ mm} \rightarrow \text{Konečný rozměr} = 61,67 \pm 0,05\text{mm}$

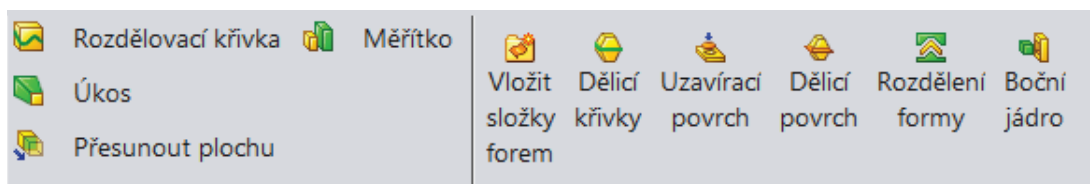
Poloha v ose Y:

$41,9 \pm 0,05\text{mm} - 50 \% \text{ tolerance na možné úpravy} \rightarrow 41,9 - (0,1-0,05) = 41,85$

Smrštění dílu: $0,6\% \rightarrow 41,9 * 0,006 = 0,25\text{mm} \rightarrow 41,85 + 0,25 = 42,1 \text{ mm}$

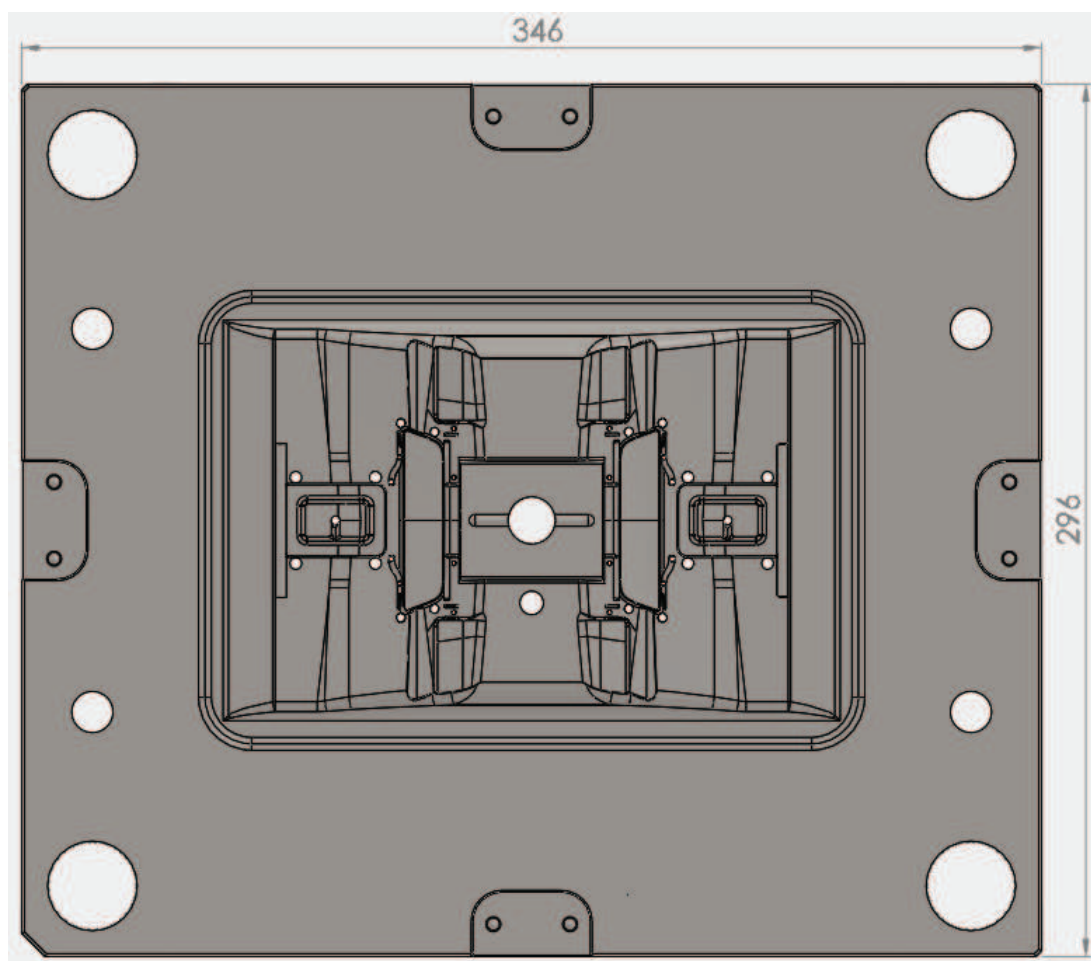
Výrobní tolerance = $0,05 \text{ mm} \rightarrow \text{Konečný rozměr} = 42,1 \pm 0,025 \text{ mm}$

Největším problémem u tvarových desek byla komplikovaná dělicí rovina, při jejímž tažení selhali speciální CAD strategie usnadňující natažení dělicí roviny pomocí příslušné formovací operace – dělicí křivky a dělicí roviny strategií pro přímé zaformování vstřikovaného dílu (obr. 3.18).



Obr. 3.18 Formovací strategie SolidWorks 2015

Dělicí rovinu bylo tedy nutno natáhnout „ručně“, křivku po křivce a pomocí skic ji postupně vytáhnout ven do rámu formy. Protože dělicí rovina je značně komplikovaná, a protože to samozřejmě přináší výrazné výrobní problémy, byla dělicí rovina rozdělena odvězdušňovacím kanálem na dvě části: část přímo přiléhající k výrobku končící v DR odvězdušňovacím kanálem a část za odvězdušněním, která byla namodelována s offsetem $-0,01 \text{ mm}$, která se nebude muset dolícovat napřesno.

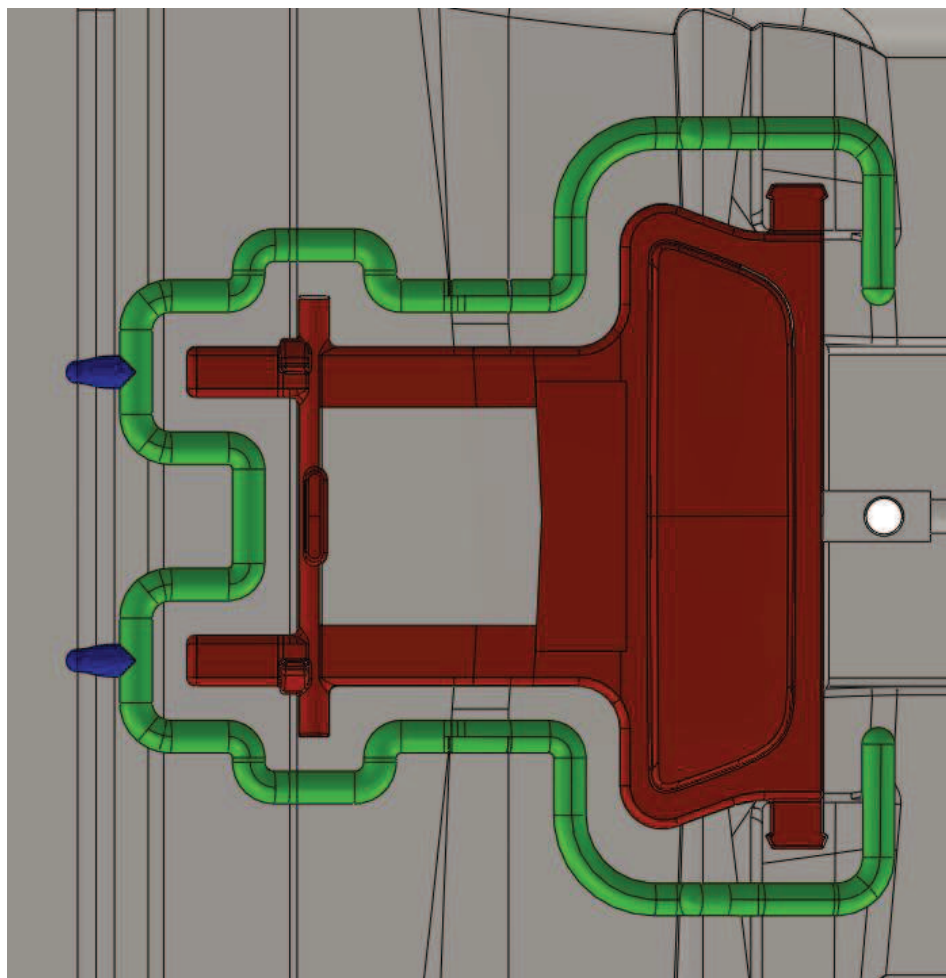


Obr. 3.19 Celkové rozměry Tvarové desky

3.4.5 Odvzdušnění

Odvzdušňovací kanál je veden kolem celé tvarové dutiny v dělicí rovině pevné strany formy, má poloměr 1,5 mm a je navržen podle zkušeností s ostatními formami podobné velikosti. Na obr. 3.20 je kanál vyznačen zelenou barvou, hnědá je tvarová dutina formy a modrou barvou jsou plochy odvádějící vzduch z dělicí roviny do rámu formy. Odvzdušňovací kanál zároveň plní funkci rozdělení ploch v dělicí rovině, kdy plochy přiléhající ke tvarové dutině („fazeta“) budou obrobena napřesno, zbylé plochy budou obrobena s offsetem -0,01 mm pro snazší slícování formy a lepší odvedení vzduchu z dělicí roviny. Odvzdušnění vzduchu uzamčeného

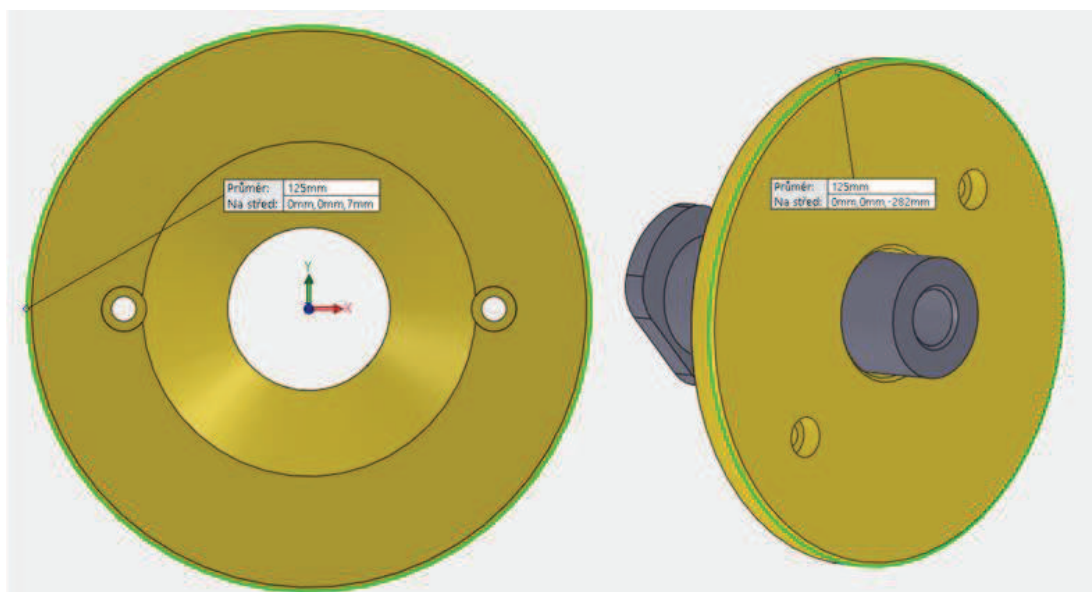
v hlubokých žebrech je vyřešeno umístěním vyhazovače dle simulace plnění tvarové dutiny (viz obr. 3.14).



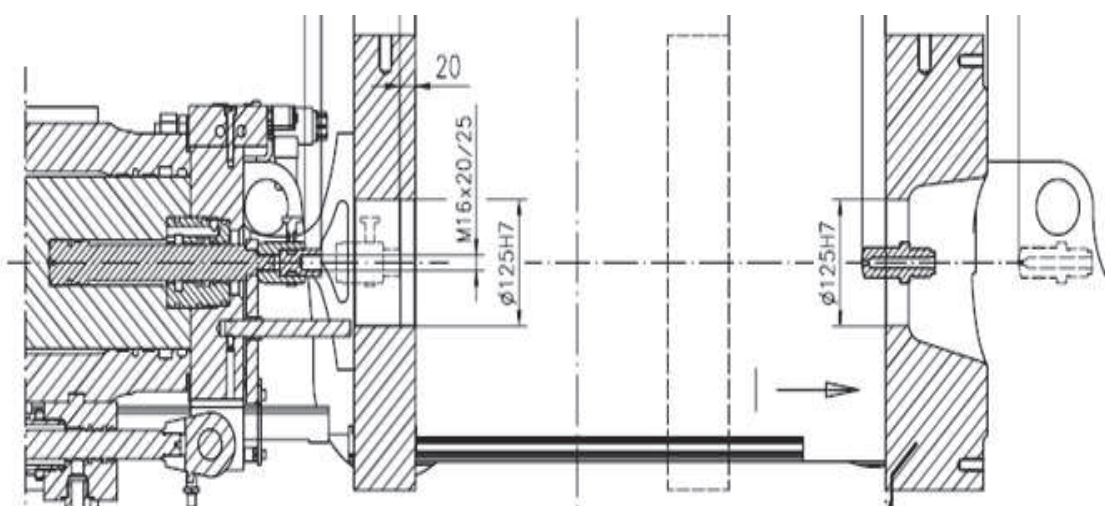
Obr. 3.20 Odvzdušnění tvarové desky pevné strany

3.4.6 Středící kroužky a zámky

Středící kroužky se používají pro vymezení souososti formy a stroje, kdy do děr H7 v upínacích deskách stroje (viz obr. 3.22) dosedají středící kroužky formy (viz obr. 3.21), většinou tolerancí $-0,1/-0,05$ mm a zajišťují tak potřebnou souosost formy se strojem. Materiálem středících kroužků se obvykle volí 1.1730 (19 083). Středící kroužek vstřikovací poloviny formy má vybrání pro trysku stroje, středícím kruhem vyhazovací částí formy prochází čep se závitem (obr. 3.23) pro našroubování táhla, ovládajícího krok vyhazovacího paketu.

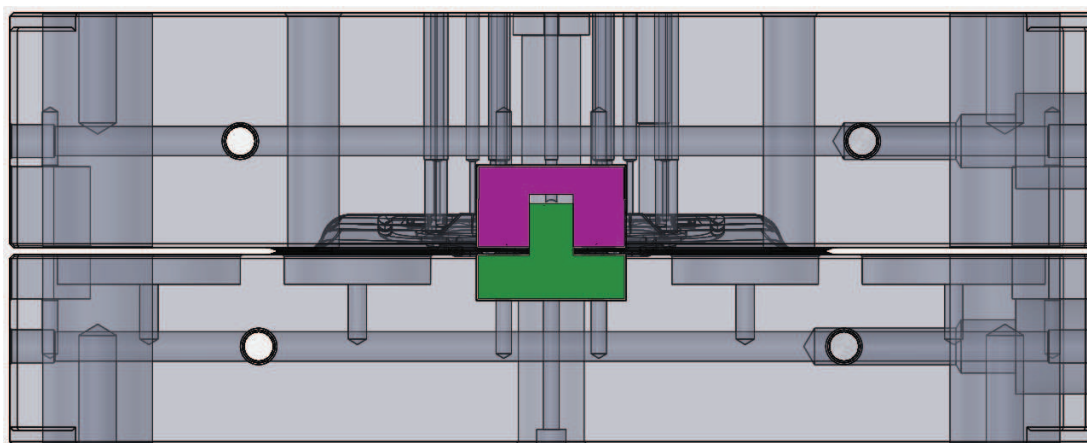


Obr. 3.21 Středicí kruhy



Obr. 3.22 Rozměry středění na stroji Victory 50

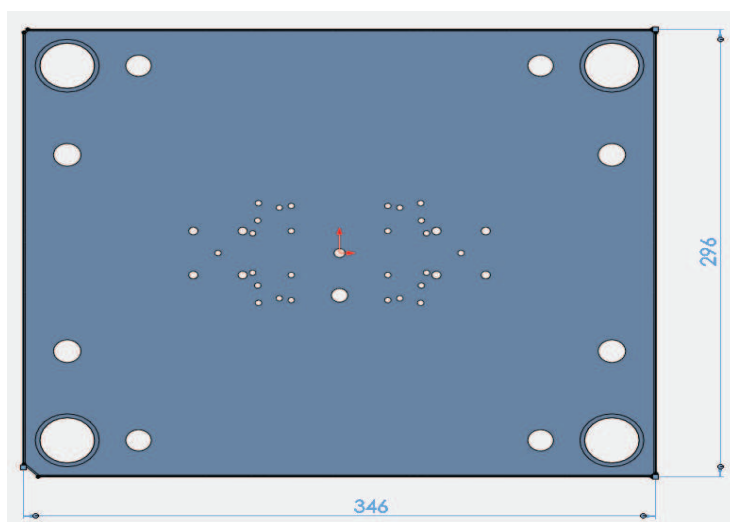
Zámky na středění (viz obr. 3.23) tvarových desek jsou nakupované normálně firmy Meusburger z materiálu 1.2162 (19 847), legovaná ocel k místnímu zakalení. Zámky mají za úkol přesně vymežit polohy tvarových desek vůči sobě a stabilizovat tak polohu přesných tvarových ploch.



Obr. 3.23 Středění Tvarových desek

3.4.7 Podkladová a izolační deska

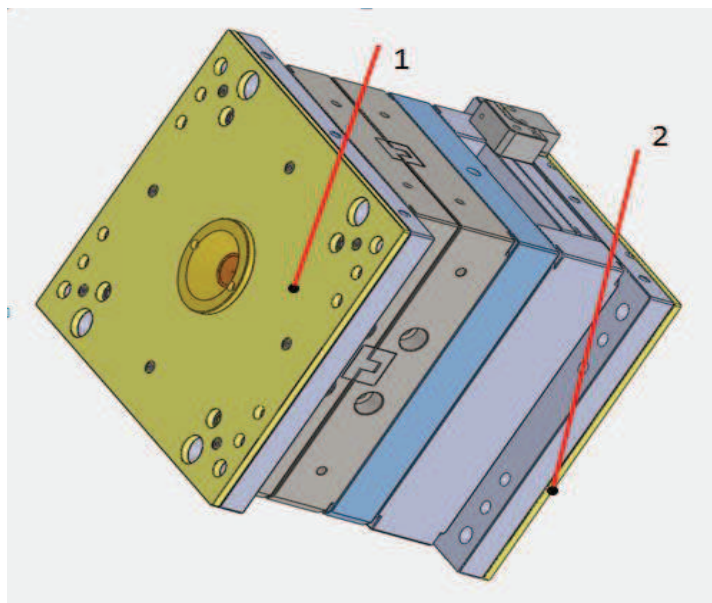
Podkladová deska slouží jednak k vyztužení tvarové desky pohyblivé strany, ale hlavně jako dorazová deska vyhazovacího paketu a k zabránění přenosu sil a tlaků, působících při vyhazování, na tvarovou desku. Půdorysné rozměry jsou stejné jako u desek tvarových (obr. 3.24), tloušťka je menší, protože deska nepotřebuje chlazení. Do desky jsou navrtány otvory pro vyhazovací systém – vyhazovací a vracecí kolíky. Materiálem desky je ocel třídy 1.1730 (19 083), nástrojová ocel používaná pro díly, které nemusejí být kalené.



Obr. 3.24 Rozměry Podkladové desky

Izolační desky se vyrábějí z materiálu s nízkým součinitelem vedení tepla ($\lambda=0,18\text{W.K}^{-1}.\text{m}^{-1}$) a zabraňují přenosu tepla ze stroje (od trysky) do

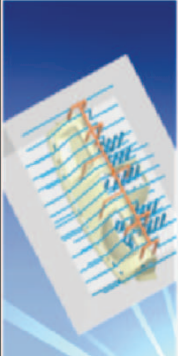
formy a zároveň jako izolace možných nečistot. Z tohoto důvodu se umisťují na obě strany formy (obr. 3.25).



Obr. 3.25 Izolační desky

3.4.8 Analýza deformací

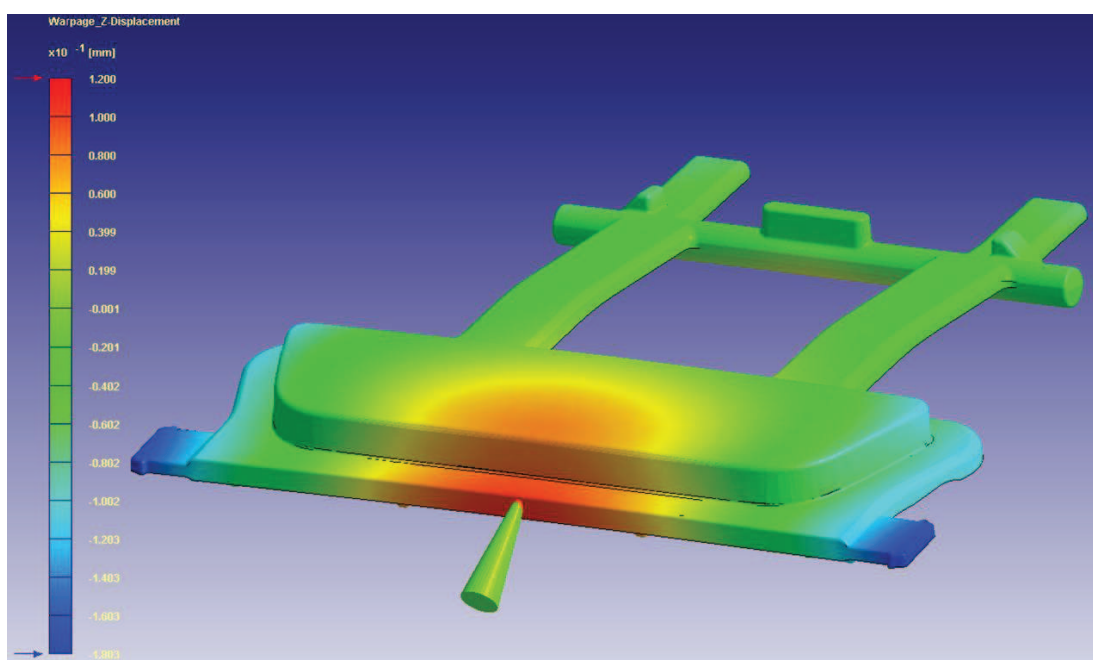
Simulace deformací vstřikovaného dílu byla provedena v programu MOLDEX 3D 11, a to na základě předpokládaných procesních veličin (obr. 3.26). Vstřikovaný díl byl z obecného formátu STEP přeuložen do síťového formátu STL, uložen do Designeru softwaru MOLDEX 3D a doplněn o rozměry, typ a polohu vtoku a o parametry chlazení. Síť pro výpočet byla zvolena 4,5 z pětistupňové škály nabízené softwarem a dále zjemněna do osy Z, která má nejmenší rozměr a výpočet v ní by tedy jinak byl nejhrubší.



| | |
|----------------------------------|---------|
| [Filling] | |
| Filling time (sec) | 1.52 |
| Melt Temperature (oC) | 265 |
| Mold Temperature (oC) | 80 |
| Maximum injection pressure (MPa) | 500 |
| Injection volume (cm³) | 6.18325 |
| [Packing] | |
| Packing Time (sec) | 8 |
| Maximum packing pressure (MPa) | 500 |
| [Cooling] | |
| Cooling Time (sec) | 35 |
| Mold-Open Time (sec) | 5 |
| Eject Temperature (oC) | 80 |
| Air Temperature (oC) | 25 |
| [Miscellaneous] | |
| Cycle time (sec) | 49.52 |

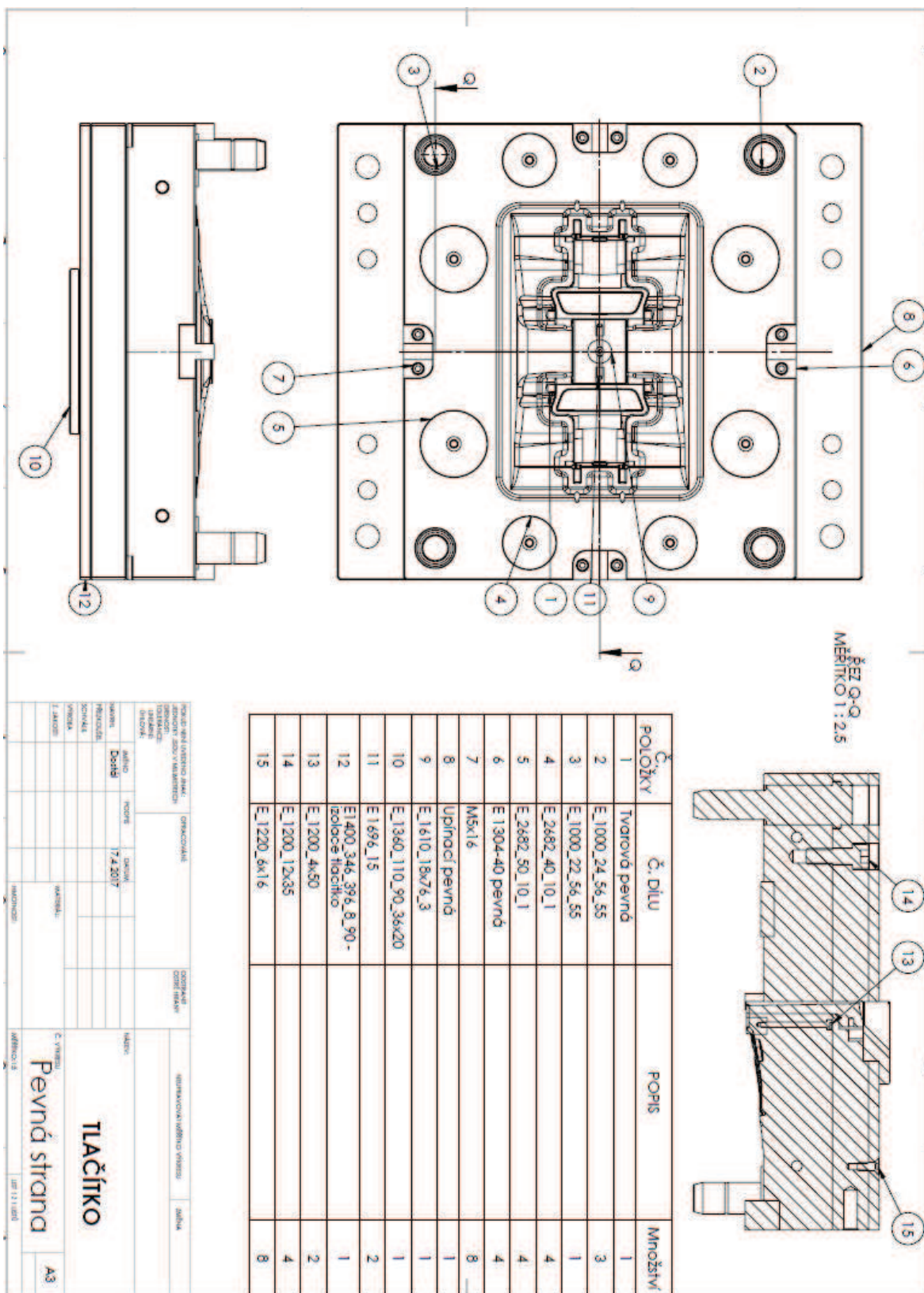
Obr. 3.26 Nastavené procesní veličiny

Protože vstřikovaný díl má jako klíčové rozměry vnitřní zástavbu čepu a jeho délku uvnitř dílu mezi krajními zácvaky (viz obr. 3.17) a zároveň polohu čepu proti přední straně dílu (viz obr. 3.17), bylo nutno na simulaci sledovat tyto rozměry a jejich deformace. Deformace uvedené v simulaci jsou včetně hodnot smrštění, aby se případně podle analýzy mohly upravovat rozměry v dutině formy. Protože však analýza neukazuje zvýšené riziko deformačních pochodů (viz obr. 3.27), a protože spolehlivost simulačních analýz se uvádí kolem 70 - 80 %, nebude potřeba hýbat s rozměry tvarové dutiny.

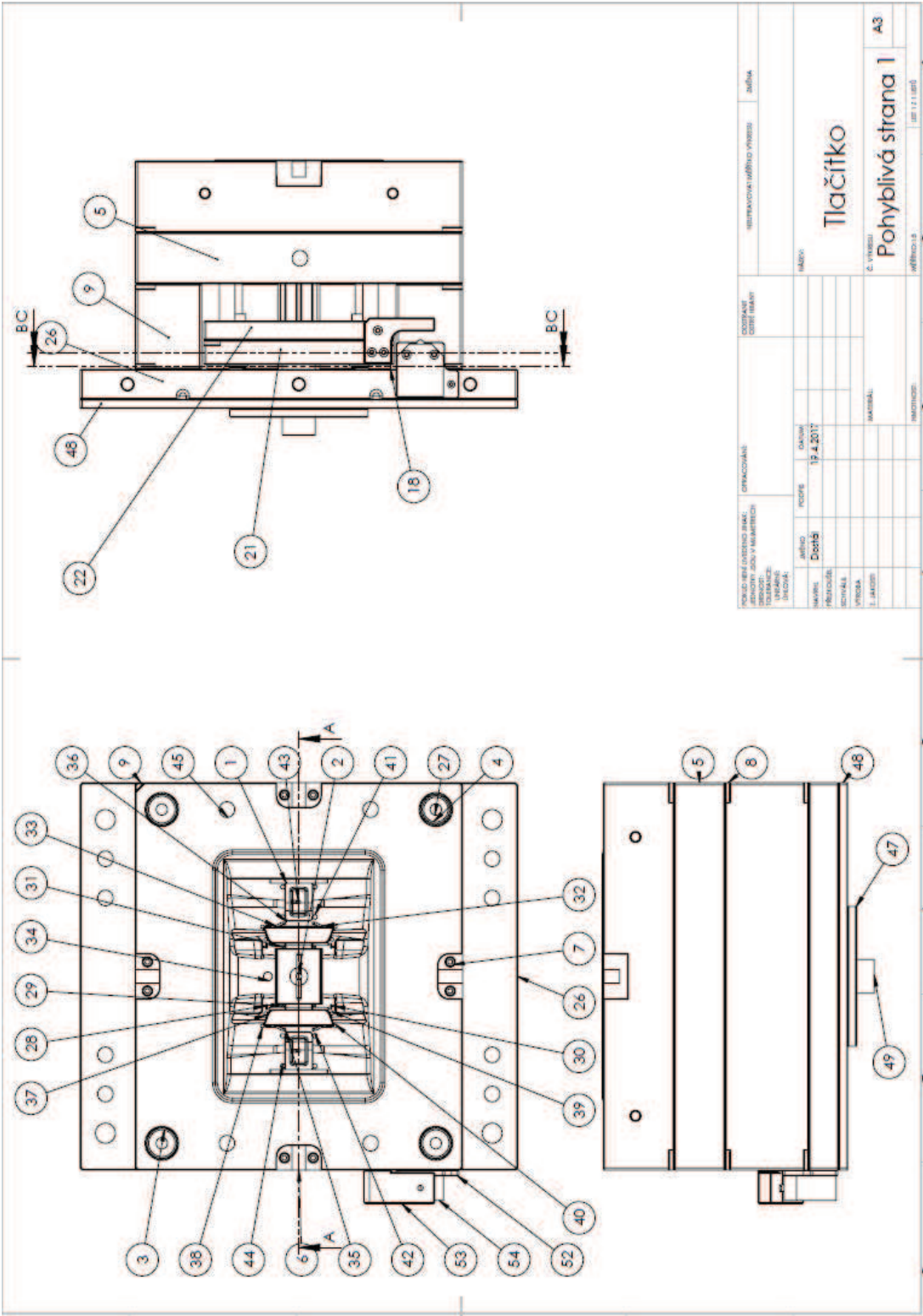


Obr. 3.27 Simulace deformací vstřikovaného dílce

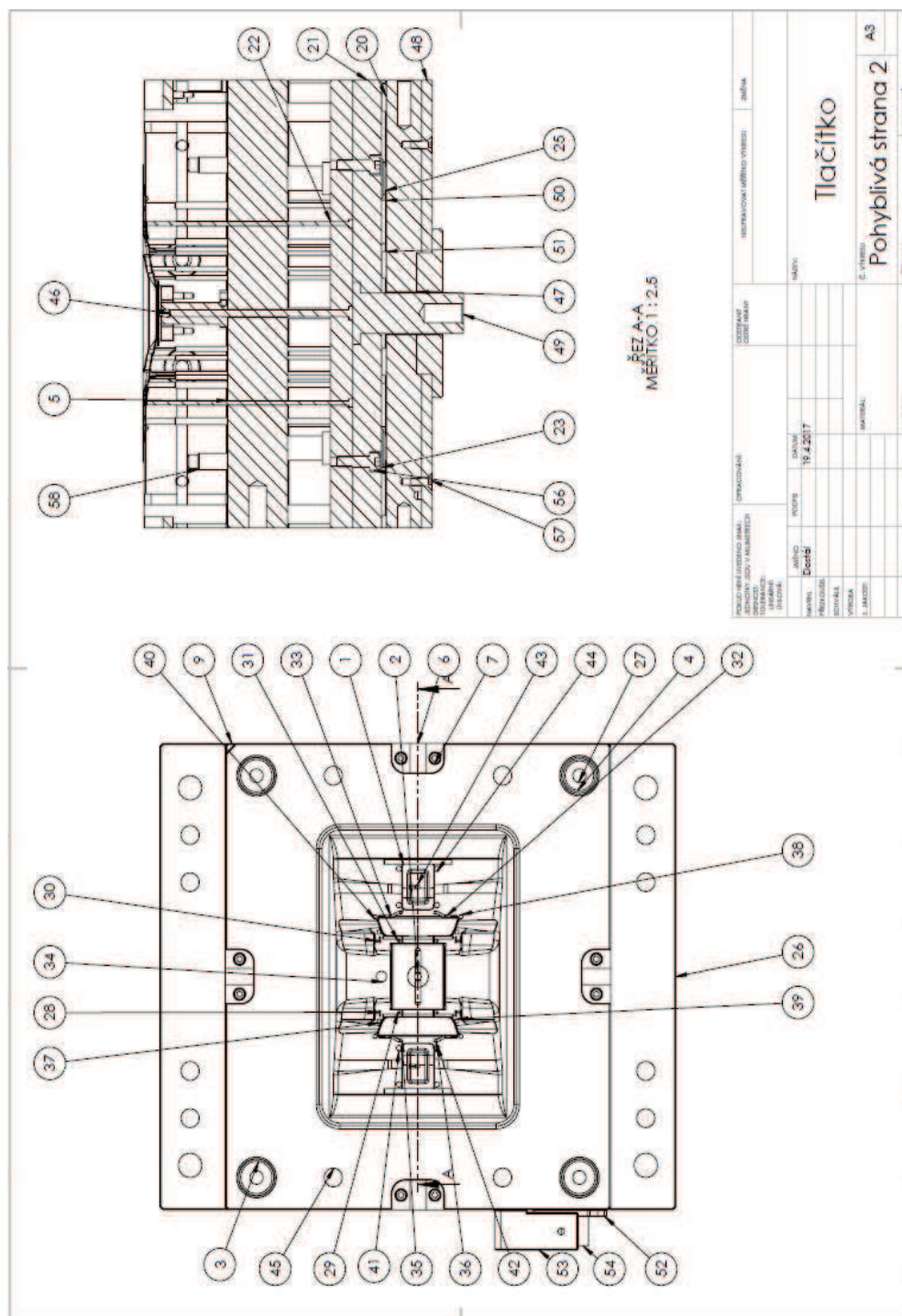
Příloha 1 – Sestavný výkres pevné části formy



Příloha 2 – Sestavný výkres 1 pohyblivé části formy



Příloha 3 – Sestavný výkres 2 pohyblivé části formy



Příloha 5 – kusovník pohyblivé části formy

| Č. | Č. DÍLU | Množství | Č. | Č. DÍLU | Množství |
|----|----------------------|----------|----|----------------------|----------|
| 1 | Tlačítko- | 1 | 30 | E_1702_1_5x160 A1 | 2 |
| 2 | E_1664_16x56 | 1 | 31 | E_1702_1_5x160 B1 | 2 |
| 3 | E_1100_24_66 | 3 | 32 | E_1702_1_5x160 C | 2 |
| 4 | E_1100_22_66 | 1 | 33 | E_1702_1_5x160 C1 | 2 |
| 5 | F_60_296_346_46 | 1 | 34 | E_1710_8x160 | 1 |
| 6 | E_1304-40 pohyblivß | 4 | 35 | E_1702_1_8x160 D | 2 |
| 7 | M5x25 | 8 | 36 | E_1702_1_8x160 D1 | 2 |
| 8 | Rozpýrka1- Tlačítko | 1 | 37 | E_1712_3x160 E | 2 |
| 9 | Rozpýrka2- Tlačítko | 1 | 38 | E_1712_3x160 F | 2 |
| 10 | F_85_296_346_172_22_ | 1 | 39 | E_1712_3x160 E1 | 2 |
| 11 | F_85_296_346_172_22_ | 1 | 40 | E_1712_3x160 F1 | 2 |
| 12 | F_85_296_346_172_22_ | 1 | 41 | E_1712_4x160 G | 2 |
| 13 | F_85_296_346_172_22_ | 1 | 42 | E_1712_4x160 G1 | 2 |
| 14 | F_85_296_346_172_22_ | 1 | 43 | E_1710_3x160 | 2 |
| 15 | F_85_296_346_172_22_ | 1 | 44 | E_1710_4x160 | 4 |
| 16 | F_85_296_346_172_22_ | 1 | 45 | E_1710_14x160 | 4 |
| 17 | F_85_296_346_172_22_ | 1 | 46 | E_1710_5x160 | 1 |
| 18 | F_85_296_346_172_22_ | 1 | 47 | E_1375_110_90x20 | 1 |
| 19 | F_85_296_346_172_22_ | 1 | 48 | E1400_346_396_8_90 - | 1 |
| 20 | F_85_296_346_172_22_ | 1 | 49 | E_1515_16_85 | 1 |
| 21 | Vyhazovací paket | 1 | 50 | E_1510_32x76 | 4 |
| 22 | Vyhazovací paket | 1 | 51 | E_1500_20 | 4 |
| 23 | E_1332_18x 48 | 4 | 52 | Podložka koncovku | 1 |
| 24 | E_1140_24 | 4 | 53 | 069-PATICE | 1 |
| 25 | E_1035_18 x 120 | 4 | 54 | 068-BALLUFF | 1 |
| 26 | UpýnacÝ pohyblivß - | 1 | 55 | E_1200_8x85 | 4 |
| 27 | E_1160_30x120 | 4 | 56 | E_1200_8x25 | 4 |
| 28 | E_1702_1_5x160 A | 2 | 57 | E_1220_6x16 | 8 |
| 29 | E_1702_1_5x160 B | 2 | 58 | E_1200_12x160 | 4 |

4 Diskuze

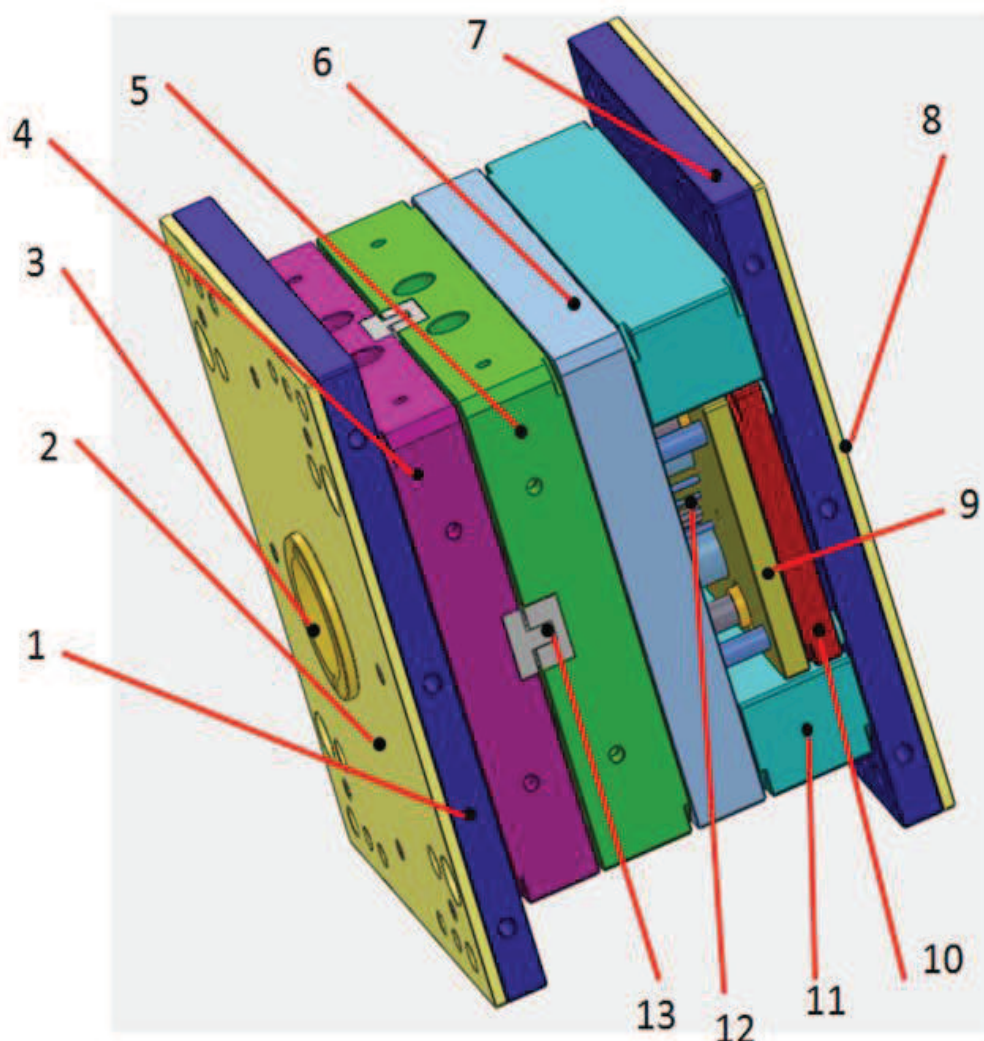
Při návrhu vstřikovací formy pro daný plastový díl jsem zjistil, že hlavním hlediskem při konstrukci formy jsou nabyté zkušenosti, od nichž se odvíjí návrh každé další formy a které konstruktérovi umožňují hledět i na navazující technologické postupy při výrobě nástroje.

Teoretické poznatky, dle mého nejlépe shrnuté v knize Klause Stöckerta *Mold-Making Handbook*, ostatně velice často také vycházejí z praktických poznatků, jsou tedy empirického charakteru a používají se jako nezávazná doporučení. Složitě exaktní výpočty, např. temperačních okruhů, se používají zejména u komplikovaných a vícenásobných vstřikovacích forem, u kterých ovšem konstrukční návrh řeší komplexní tým specialistů, tedy konstruktér dílu, konstruktér formy, moldflow specialista a CAM technolog.

Významným pomocníkem při konstrukčním návrhu formy jsou CAD technologie, kdy díky špičkovým softwarům lze hrubý návrh formy vytvořit automaticky a konstruktér formy se jím může přibližně řídit. Hrubý automatický návrh také významně usnadňuje předběžný rozpočet celého projektu na konstrukci a výrobu formy. Návazné CAM technologie jsou dnes již samozřejmostí.

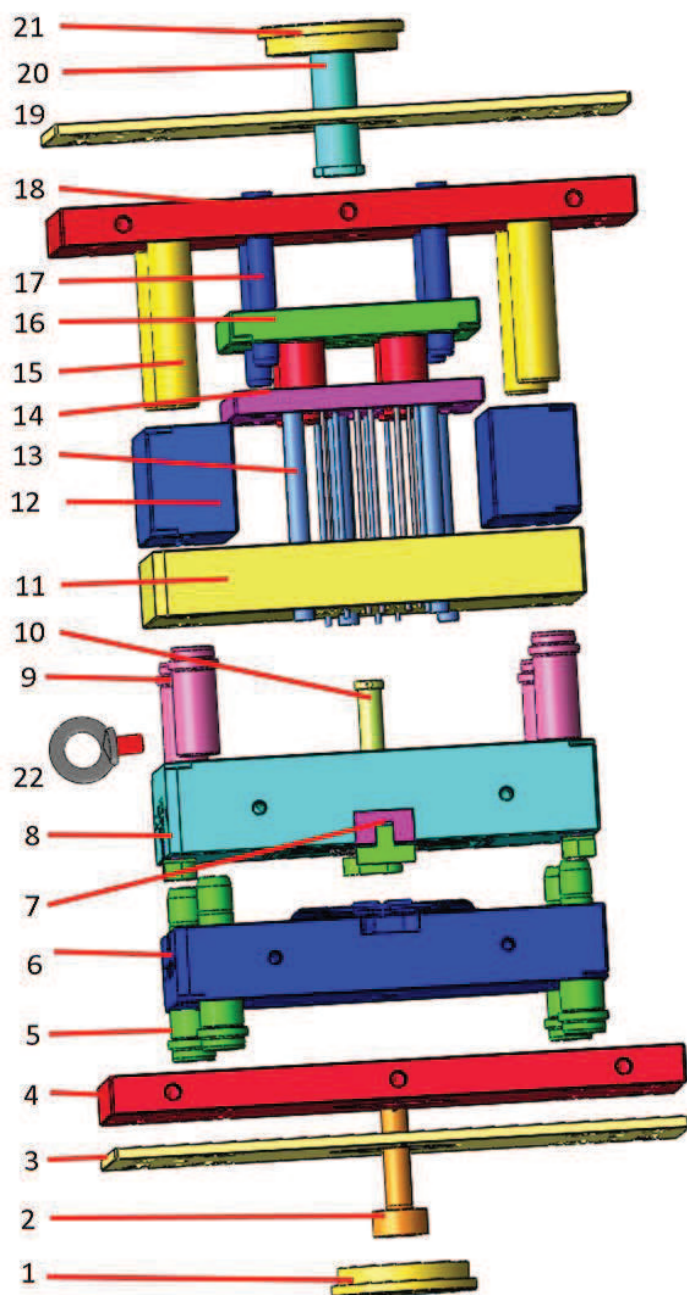
Simulační procesy při vstřikování plastů se většinou nepoužívají přímo pro návrh formy, ale pro kontrolu rozměrů a zvolených geometrií. Používají se zejména pro ověření vtokové soustavy, tedy zda dojde k dotečení celého dílu ve stanoveném vstřikovacím čase, dále ke kontrole odzdušnění nejhlubších míst dutiny formy od dělicí roviny, ke kontrole temperačního okruhu a jeho schopnosti ochladit díl ve stanoveném rozsahu teplot a také na kontrolu deformací vstřikovaného dílu, na což mají největší vliv zvolené technologické parametry. Obecně se simulace vstřikovacích procesů používají tím více, čím je díl typičtější a komplikovanější. Chyby simulací se většinou udávají jako zhruba 20%.

Návrh formy také nesmírně usnadňují nakupované normalizované díly, protože výrobci je poskytují v obecných 3D CAD formátech a není tedy nutno kreslit geometricky komplikované části, např. ústí vtoku. Nevýhoda ale spočívá v tom, že je poté nutno dodržet normalizované rozměry, které ne vždy musejí splňovat podmínky, kladené na ně zástavbovými rozměry formy.



1-Upínací deska pevná 2-Izolační deska pevná 3-Středicí kruh pevná 4-Tvarová deska pevná 5-Tvarová deska pohyblivá 6-Podkladová deska 7-Upínací deska pohyblivá 8-Izolační deska pohyblivá 9-Kotevní deska 10-Opěrná deska 11-Rozpěrka 12-Vyhazovač 13-Středicí zámky

Obr. 4.1 Celkový pohled na vstříkovací formu



1-Středící kroužek pevné strany 2-Vtoková tryska 3- Izolační deska pevné strany 4-Upínací deska pevné strany 5-Vodicí sloupky 6-Tvarová deska pevné strany 7-Středící zámky 8-Vodicí pouzdra 9-Vodicí pouzdra 10-Vtoková vložka 11-Podkladová deska 12-Rozpěrná deska 13-Vyhazovací kolíky 14-Kotevní deska 15-Vodicí sloupky pohyblivé strany 16-Opěrná deska 17-Středící sloupky Vyhazovacího paketu 18-Upínací deska pohyblivé strany 19-Izolační deska pevné strany 20-Závitová vložka Středící kroužek pohyblivé strany

Obr. 4.2 Pohled do rozložené formy

5 ZÁVĚR

Diplomová práce na téma konstrukce vstřikovací formy pro zadaný díl v prvních dvou kapitolách shrnuje nároky na konstrukci vstřikovacích forem. Konstrukce vstřikovací formy se odvíjí od technologie vstřikování a materiálů používaných pro vstřikování, které jsou v úvodní teoretické stati také zahrnuty. Protože konstrukčních možností vstřikovacích forem je mnoho, jsou požadavky ukázány na příkladu varianty dvoukomponentní formy.

Praktická část obsahuje návrh vstřikovací formy pro zadaný díl. Vstřikovací forma je dvoukomponentní se studeným vtokovým systémem a temperační soustavou z kanálů s proudící vodou. Forma byla nakreslena v CAD softwaru SolidWorks. Vtoková a temperační soustava byla navrhována a ověřována pomocí simulačního softwaru MOLDEX 3D. Normalizované díly pro formu jsou od firmy Meusburger. K této části jsou přiloženy i sestavné výkresy formy.

V diskuzi k praktické části jsem shrnul všechny důležité aspekty z návrhu formy a provázanost CAD/CAM a CAD/CAE technologií. K této části jsem připojil obrázek a popis formy ve složeném tvaru a formy rozložené na jednotlivé komponenty.

Seznam použité literatury:

- [1] *Doc. Ing. Josef Krebs, CSc.; Teorie zpracování nekovových materiálů TUL 2006*
- [2] *Dr. Klaus Stöckhert; Mold-making Handbook Hanser Publishers 1983*
- [3] *Gastrow, Hans; Injection Mold Carl Hanser Verlag 2002*
- [4] *Zeman Lubomír; Vstřikování plastů BEN 2009*
- [5] *Prof.Dr. Ing. Petr Lenfeld; Technologie II – Zpracování plastů*
- [6] *Doc. Ing. Josef Krebs, CSc. a kolektiv; Termoplasty v praxi Verlag Dashöfer 2001*
- [7] www.meusburger.com
- [8] www.cecho.cz
- [9] www.simulplast.cz – Moldex 3D
- [10] www.engelglobal.com
- [11] www.publi.cz online dostupné na: <https://publi.cz/boos/184/03.html>
<https://publi.cz/boos/179/04.html>
<https://publi.cz/boos/180/18.html>
- [12] www.kps.tul.cz online dostupné na:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [13] www.arburg.com